Government of Canada | Gouvernement du Canada

Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness

Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile

CONSEQUENCE ANALYSIS OF STORM SURGE IN THE CHARLOTTETOWN, PRINCE EDWARD ISLAND AREA

Acknowledgements

This publication has been prepared for:

Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness

2nd Floor, Jackson Building
122 Bank St.
Ottawa, ON K1A 0W6
Tel: (613) 944-4875
Toll Free: 1-800-830-3118
Fax: (613) 998-9589
Email: communications@ocipep-bpiepc.gc.ca
Internet: www.ocipep-bpiepc.gc.ca

Author:

James Bruce
Science Applications International Corporation (SAIC Canada)

This material is based upon work supported by the Division of Research and Development (DRD) in the Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness (OCIPEP), formerly Emergency Preparedness Canada, under Contract Reference No. 2001D005. Any opinions, findings, and conclusions or recommendations expressed in this material are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness.

© HER MAJESTY THE QUEEN IN RIGHT OF CANADA (2002)
Catalogue No.: D82-83/2003E-PDF
ISBN: 0-662-34943-1

ArcView is a trademark of ESRI.

All other product and company names may be trademarks or registered trademarks of their respective companies.

104-06735/

Executive Summary

Canada's Atlantic Region is often subject to severe weather, particularly during the late summer and early fall hurricane season when tropical storms and hurricanes up to Saffir-Simpson Category 2 are not uncommon (Category 3 hurricanes have occurred). As well, during the winter months major storms bring high winds and snow or freezing rain to the area. Often, these storms are accompanied by a surge that floods the foreshore and low-lying areas. Prince Edward Island has been subjected to this extreme weather on several occasions, the most dramatic in January 2000 when the northern coast of PEI and the City of Charlottetown experienced significant flooding.

The coast of PEI is highly indented, the result of long-term relative sea-level rise which has caused back-flooding of river valleys to form elongated estuaries. Charlottetown is located on a sheltered harbour formed by the confluence of two such flooded valleys. The mean rate of rise in relative sea level at Charlottetown the last century, based on an analysis of tide-gauge records going back to 1911, is 3.2 mm/year, somewhat higher than the estimated rate of 2 mm/year over the past 2000 years. The geological data also imply long-term retreat of the coast at rates >0.5 m/year. This condition, along with the increase in the number and intensity of storms resulting from climate change, make Charlottetown increasingly vulnerable to storm surge and floods.

It is recognized that storm surge is the cause of most of the damage and loss of life during hurricanes, and much effort has gone into developing ways to predict and warn of impending storms and storm surge. To make better use of the warnings in preparing for severe weather, city planners need tools to guide mitigation measures (e.g., engineering controls [breakwaters, traffic barriers, etc.] and administrative controls [land use zoning, building codes etc.]). Emergency managers need tools to guide precautionary (e.g., repositioning equipment, selective evacuation of special care facilities) and protective measures (e.g., general evacuation), and to enable rapid and effective response actions. One such tool is the Consequence Analysis Tool Set (CATS) developed by Science Applications International Corporation (SAIC). For use in the Charlottetown area, the CATS model was validated against flood maps produced under Climate Change Action Fund (CCAF) project A041 on Coastal Impacts of Climate Change and Sea Level Rise on Prince Edward Island.

This storm surge study was conducted using CATS – populated with geographic and infrastructure data of the City of Charlottetown – to model various tropical and frontal storm conditions and storm surge.

The result of the CATS modelling indicates that a high diurnal tide and a predicted surge level of one metre, similar to that forecasted for the winter storm of 1998, is the most probable event that is likely to impact on Charlottetown. These conditions would cause serious flooding in the downtown core of the city. Compounding the storm surge problem is the effect of high wind associated with the storms, resulting in light damage to single family homes and up to severe damage to mobile homes. For planning and response purposes other storm conditions with higher consequences, but lower probability (Category 2 and 3 hurricanes), were modelled and

precautionary and protective measures were developed and tabulated in the form of a response guide for use in emergency operations centres.

History has shown that the Maritime Provinces are susceptible to extreme weather, and with predicted climate changes the tendency appears to be moving toward an increase in storm frequency and intensity. The Charlottetown study illustrates the potential hazard to population, critical infrastructure and industry from the effects of storm surge and wind from hurricanes, tropical storms, and severe winter storms.

Table of Contents

Acknowledgements ii

Executive Summary iv

1.0 Introduction 1

1.1 Aim 1
1.2 Scope 1
1.3 Description of the Study Area 1
1.4 Definitions 2

2.0 The CATS Storm Damage Model 3

2.1 Introduction 3
2.2 Consequence Assessment Tool Set 3
2.3 Mapping Data 4
2.4 Storm Surge Model Validation 4
2.4.1 Model Calibration 5
2.4.2 Comparison of CATS with CCAF models 5

3.0 Charlottetown Infrastructure 8

4.0 Storm Surge and Wind Impacts 10

4.1 Introduction 10
4.2 Storm Surge Consequence Modelling 10
4.2.1 Tropical Storms/Hurricanes 10
4.2.2 Winter Storms 15
4.2.3 CATS Results 17
4.2.4 Precautionary/Protective Measures 17
4.3 Wind Consequences Modelling 18
4.3.1 Category 1 Hurricane 18
4.3.2 Category 2 Hurricane 19
4.3.3 Category 3 Hurricane 21
4.3.4 Tropical and Winter Storms 22
4.3.5 Summary of Estimated Wind Damage 23
4.3.6 Precautionary/Protective Measures 23

5.0 Charlottetown Localities Most At Risk 24

5.1 High Probability 24
5.2 High Consequences 25
5.3 Infrastructure at Risk 26

6.0 Response Actions 26

6.1 Emergency Management Cycle 26
6.2 Precautionary/Protective Measures 26
6.3 Response Guidance – Forecasted Hurricanes / Severe Storms 28

7.0 Mitigating Measures **33**

8.0 Conclusion **34**

Appendix A – Saffir-Simpson Hurricane Scale **A-1**

Appendix B – References **B-1**

1.0 Introduction

Canada's Atlantic Region is often subject to severe weather, particularly in the late summer and early fall hurricane season when tropical storms and hurricanes up to Saffir-Simpson Category 2 are not uncommon (and Category 3 hurricanes have occurred). As well, during the winter months major storms bring high winds and snow or freezing rain to the area. Often, these storms are accompanied by a surge that floods the foreshore and low-lying areas. Prince Edward Island has been subjected to this extreme weather on several occasions, the most dramatic in January 2000 when the northern coast of PEI and the City of Charlottetown experienced significant flooding.

It is recognized that storm surge is the cause of most of the damage and loss of life during hurricanes, and much effort has gone into developing ways to predict and warn of impending storms and storm surge. To make better use of the warnings in preparing for severe weather, city planners need tools to guide mitigation measures. Emergency managers need tools to guide precautionary and protective measures, and to enable rapid and effective response actions. One such tool is the Consequence Analysis Tool Set (CATS) developed by Science Applications International Corporation (SAIC).

This storm surge study was conducted using CATS – populated with geographic and infrastructure data of the City of Charlottetown – to model various tropical and frontal storm conditions and storm surge. Based on the results of the model runs, expected storm surge and wind effects on Charlottetown infrastructure were developed, including recommended precautionary, protective and response actions.

1.1 Aim

The aim of this report is to document the results of SAIC Canada's Charlottetown Prince Edward Island Storm Surge Study.

1.2 Scope

This report includes:

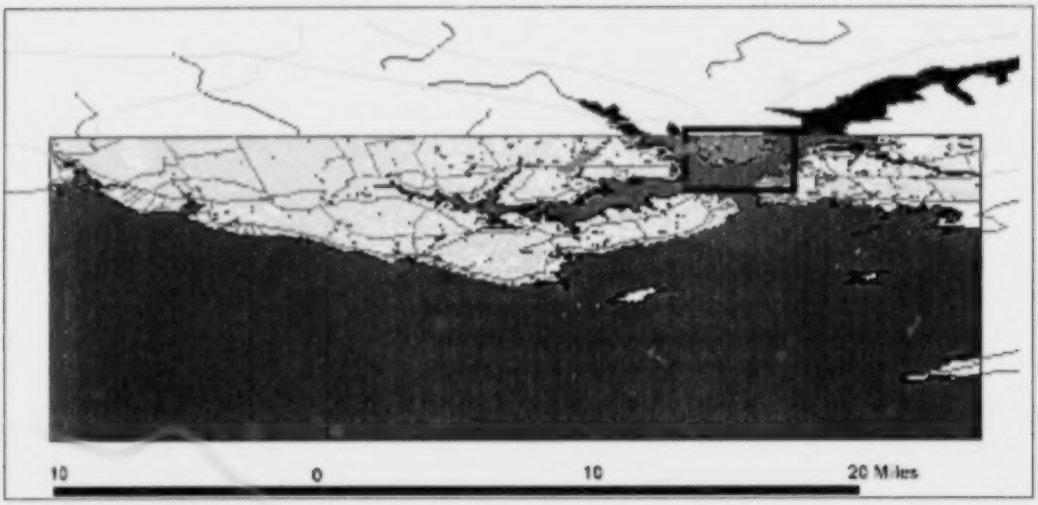
- the results of storm surge and wind damage model runs for various storm conditions; and
- consolidated emergency management considerations developed as a result of the study.

1.3 Description of the Study Area

The coast of PEI is highly indented, the result of long-term relative sea-level rise which has caused back-flooding of river valleys to form elongated estuaries. Charlottetown (Figure 1) is located on a sheltered harbour formed by the confluence of two such flooded valleys. The mean rate of rise in relative sea level at Charlottetown this century, based on a re-analysis of tide-gauge records going back to 1911, is 3.2 mm/year, somewhat higher than the estimated rate of 2 mm/year over the past 2000 years. The geological data also imply long-term retreat of the coast at rates >0.5 m/year (Forbes et al., 2001). This condition, along with the increase in the number

and intensity of storms resulting from climate change, make Charlottetown increasingly vulnerable to storm surge and floods.

Figure 1 Study Area (shown in box)



1.4 Definitions

For this report the following definitions apply:

Deterministic Damage Estimate – the average level of damage (light, moderate, or severe) to various structural types for forecasted wind speeds during a storm.

Light Damage – minor damage to such things as storm doors, shutters, and roofs (missing shingles), but structural integrity is not impacted.

Moderate Damage – damage to the roof and structural integrity that would render the building uninhabitable until repairs are made.

Precautionary Measures – measures taken prior to an emergency to minimize the impact of the event on the public, essential operations, and/or vital resources. As a guiding principle, early precautionary measures should be relatively inexpensive and non-disruptive. Precautionary measures usually become increasingly more expensive and disruptive as the threat develops. Examples of early precautionary measures include closure of pubic facilities (e.g., parks), notification and selective recall of key personnel and issuing advisories. Examples of later precautionary measures include selective evacuation (e.g., special care facilities) and relocation of critical resources (e.g., re-positioning fire-fighting equipment), and the re-positioning of vital functions (e.g., activating alternate emergency operations centres) as required. As a rule, the more vulnerable a segment of the population is or the more vital a facility is, the earlier the precautionary measures are implemented.

Probabilistic Damage Estimate – the probability of a specific level of damage (light, moderate or severe) to various structural types for forecasted wind speeds.

Protective Measures – measures taken, when an emergency is imminent or during an emergency, to protect the community from the direct effects of the event. Examples include mass evacuation, sheltering (e.g., stay indoor order) and implementing medical emergency response protocols.

Severe Damage – damage that completely compromises structural integrity leaving the building permanently uninhabitable.

2.0 The CATS Storm Damage Model

2.1 Introduction

This section describes CATS, the CATS calibration method and how the CATS modelling results were validated for predicting the surge flooding damage in the Charlottetown area. The wind damage prediction model is based on wind speed and dynamic pressure on various structures. The CATS wind damage estimates for Charlottetown could not be compared against previous work, as there are no known data on or models of wind damage of this area. However, the accuracy of the CATS wind damage model has been accepted by the Federal Emergency Management Agency (FEMA) in the United States. CATS has been successfully used by FEMA for providing effective wind damage estimates since the beginning of the 1993 hurricane season.

2.2 Consequence Assessment Tool Set

CATS assesses the consequences of technological and natural hazards to the population, resources, and infrastructure. It also performs spatial queries and other functions pertaining to actions required for mitigating those consequences. Hazards accounted for in CATS range from natural forces such as hurricanes and earthquakes, to technological emergencies such as industrial accidents (e.g., chemical spills and nuclear releases) and acts of terrorism (e.g., weapons of mass destruction). This study only addresses the effects of hurricanes and winter storms on Charlottetown, Prince Edward Island. The CATS hurricane model plots the storm track and the estimated wind damage regions for the areas surrounding the track of the hurricane and predicts likely surge flooding. CATS makes use of Environment Canada's Hurricane Centre storm forecasts/warnings to develop near real-time damage estimates. Furthermore, the programme is capable of seeking and importing local tidal information from Internet sources directly into CATS. A complete description of CATS and its capabilities can be seen on the CATS Web site – http://cats.saic.com/.

The CATS application works within a full-featured Geographic Information System (ArcView™). The ArcView™ environment enables CATS analytical tools to combine multiple layers of user-specific, geo-referenced and attributed, infrastructure, resource and facility databases within the spatial context of geo-referenced vector, raster, and photographic images.

For this project the maximum (2.6 m), minimum (0.6 m) and a median (1.8 m) tide, taken from the Canadian tide tables for Charlottetown, were each input for a series of CATS analysis runs.

Runs at each tide height were conducted with the expected surge levels for tropical storms, category 1, 2 and 3 hurricanes, and severe winter storms, all of which have potential for impacting on Charlottetown.

2.3 Mapping Data

The Centre of Geographic Sciences (COGS) and Geological Survey of Canada (GSC) have created a high-resolution digital elevation model and mapping of coastal morphology of the study area. This has been used to develop flood hazard maps for events of specified probability under climate change. Also as part of the same project, Canadian Hydrographic Service (CHS) has completed Digital Global Positioning System (DGPS) surveys to establish a common datum for water levels in the southern Gulf of St. Lawrence. CATS used this information and the databases during this study.

The Charlottetown CATS model uses the following electronic mapping data:

- Natural Resources Canada Maps (sheet numbers 0111/03 Charlottetown, 0111/02 Montague, and 0111/06 North Rustico);
- Nautical Data International, Inc. Northumberland Strait seafloor topography information; and
- The Light Detection and Ranging (LIDAR) data provided by the CCAF project.[1]

2.4 Storm Surge Model Validation

The CATS model was validated against flood maps produced under Climate Change Action Fund (CCAF) project A041 on Coastal Impacts of Climate Change and Sea Level Rise on Prince Edward Island.[2]

The CATS models were computed based on the same conditions as the CCAF modelling parameters. For both the CCAF project and this study, water levels resulting from storm surge events were defined as water height (combined tide height and surge height) above Chart Datum (CD). CD is defined as a vertical reference that is approximately equivalent to the water at the lowest astronomical tide (i.e. lower low water, large tide). For the Charlottetown area the CD is 1.6 meters below geodetic datum (CGVD28). The CATS model was validated in two phases:

1. Model Calibration
2. Comparison of CATS against CCAF models

---

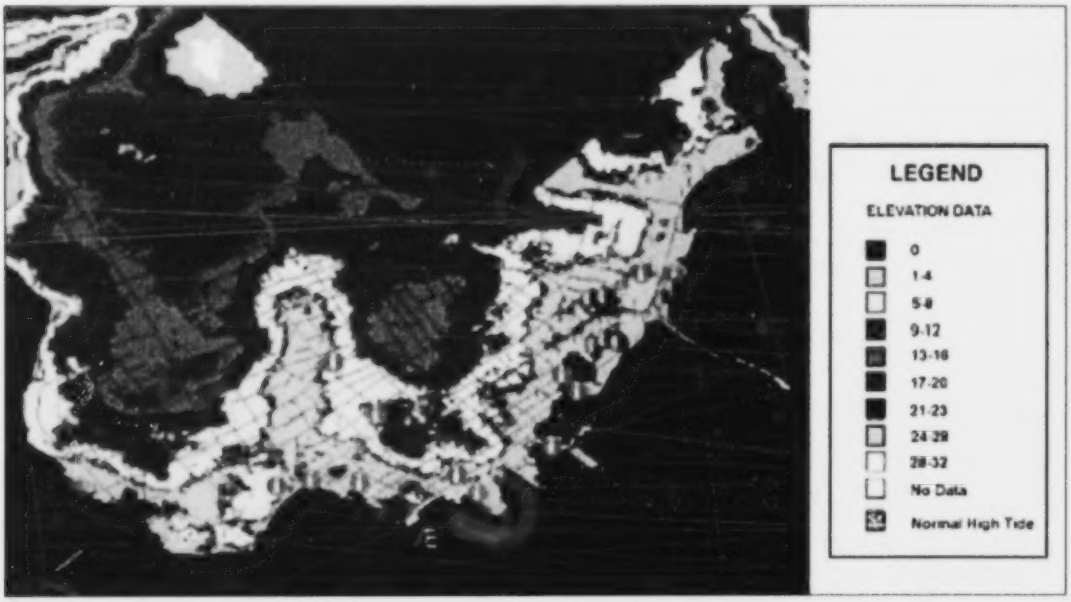
[1] Also know as Airborne Laser Topographic Mapping (ALTM).

[2] Webster, T., Forbes, D.L., Dickie, S., Covill, R. A. & Parks, G., 2001. Airborne imaging, digital elevation models and flooding maps. In: Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island (Shaw, R.W. & Forbes, D.L., editors). Geological Survey of Canada, Open File [no. pending], Supporting Document 4, p 35.

2.4.1 Model Calibration

The CATS model was calibrated to CD by modelling an average winter high tide (2.6 m) and a zero surge.[3] The aim was to ensure that the output from this model, run with normal tide or surge, reflected no change in the water levels and no effects or changes to the shoreline. After software changes to adjust digital mapping data to CD, the model baseline run results match CD. This test was conducted three times with consistent and correct results. See Figure 2.

Figure 2 CATS Model with Average Winter High Tide and Zero Surge



2.4.2 Comparison of CATS with CCAF models

The model was validated by a detailed comparison of CATS storm model runs against the results of the CCAF project modelling exercises. In the CCAF project the following three water levels were modelled using GRASS [4] (a public domain GIS software package):

1. 4.23 meters above CD (m CD)
2. 4.70 m CD
3. 4.93 m CD

The following CATS scenarios were run at 0.2 m increments to match topographical resolution of the electronic charts. It is considered that 20 cm resolution is adequate for emergency planning purposes.

---

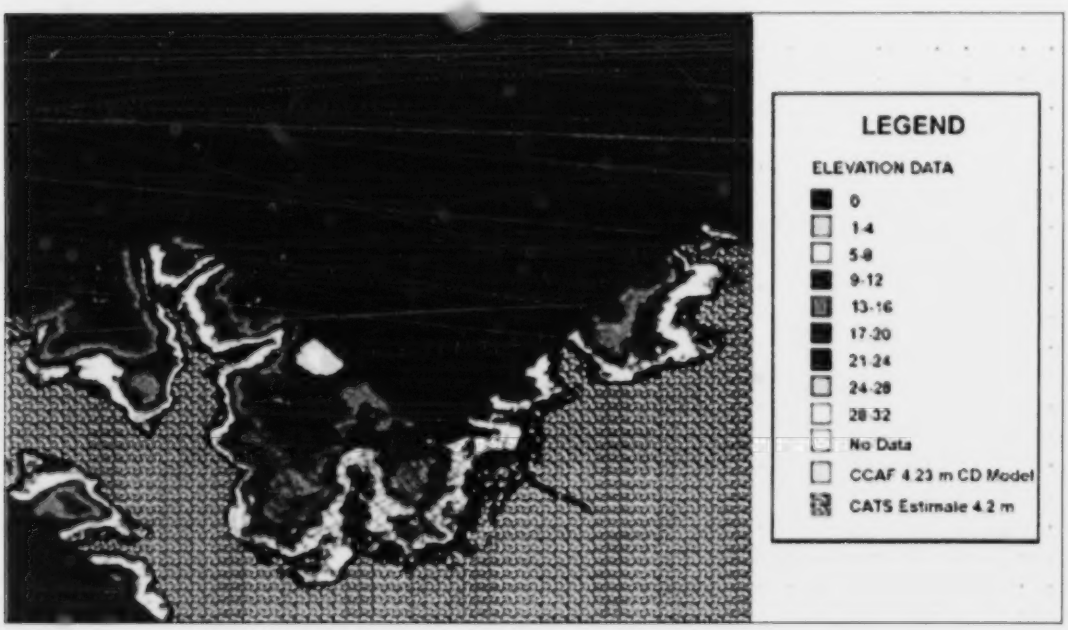
[3] Minister of Fisheries and Oceans Canada, Canadian Tide and Current Tables 2002, Gulf of St. Lawrence, Volume 2, Ottawa 2002.

[4] Coastal Impacts of Climate Change and Sea-level Rise on Prince Edward Island – Tim Webster et al.

SCENARIO ONE

In this scenario, water heights of 4.2 and 4.4 m CD were modelled by CATS and compared to CCAF findings. The CCAF model is based upon an actual event that occurred on 21 January 2000 when the winter storm surge resulted in a total water height of 4.23 m CD and flooded parts of the Charlottetown waterfront and the downtown core. The CCAF model was conservative and showed more flooding than actually occurred. The Charlottetown City Engineer identified areas in the CCAF model flood plain that actually remained above the high water mark. This was expected as the area has a very shallow gradient and a few centimetres of water more or less would make a big difference on the ground. CATS flood estimates are displayed in a similarly conservative manner. CATS results were consistent with the CCAF model as shown in Figure 3.

Figure 3 Comparison of CATS and CCAF 4.23 m CD Models



SCENARIO TWO

The second CCAF scenario of 4.70 m CD is based on a "lesser event," with a higher probability, after the expected 100 year rise in sea level.[5] The same procedures were followed in this scenario. The CATS model was run for 4.80 m CD. The result is shown in Figure 4.

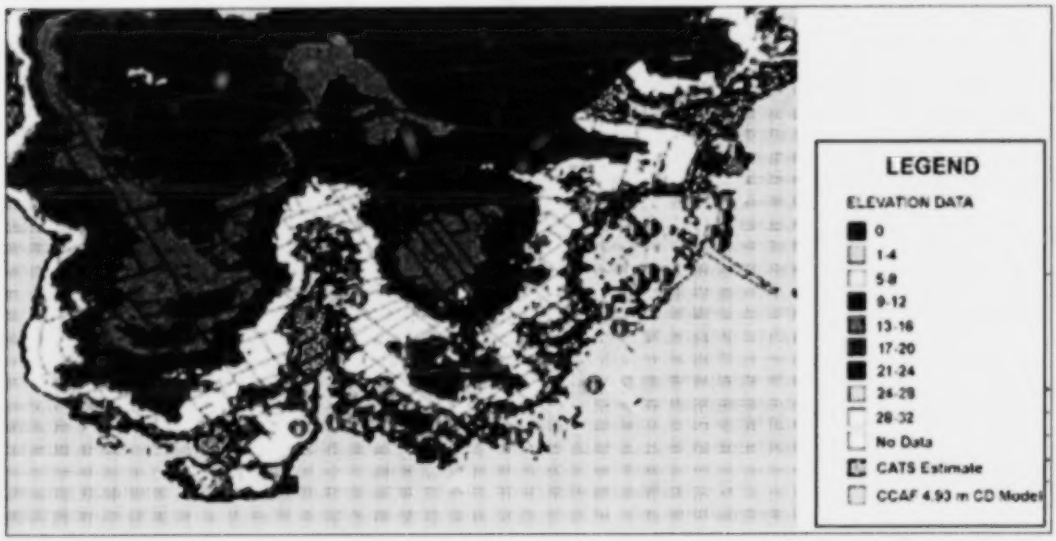
Figure 4 Comparison of CATS and CCAF 4.7 m CD model

[5] The heights of tide vs. surge are not discussed in the CCAF model; rather, total water height is given. The CATS scenario was run using a combination of tide and surge heights to display 4.6 and 4.8 m CD floods.

SCENARIO THREE

The last scenario of 4.93 m CD is based on the January 2000 surge after 100 years of anticipated sea level rise. The CATS run, done at 4.8 m CD, is shown for comparison with the CCAF model in Figure 5.

Figure 5 Comparison of CATS and 4.93 m CD CCAF Model



RESULTS

As demonstrated in the previous figures, the results of the modelling runs are consistent with the CCFA model, with allowances for the 20 cm contour resolution used by CATS.

3.0 Charlottetown Infrastructure

There are an estimated 8,450 buildings in the City of Charlottetown comprised of the following types of structures: [6]

- Single family residences – wood-frame construction 7,600
- Commercial / office structures / apartments – brick/masonry 650
- Mobile/Mini homes 200

[6] The City Engineer, based on the tax assessment, provided the estimates of the numbers and types of properties in the City of Charlottetown.

The commercial structures include:

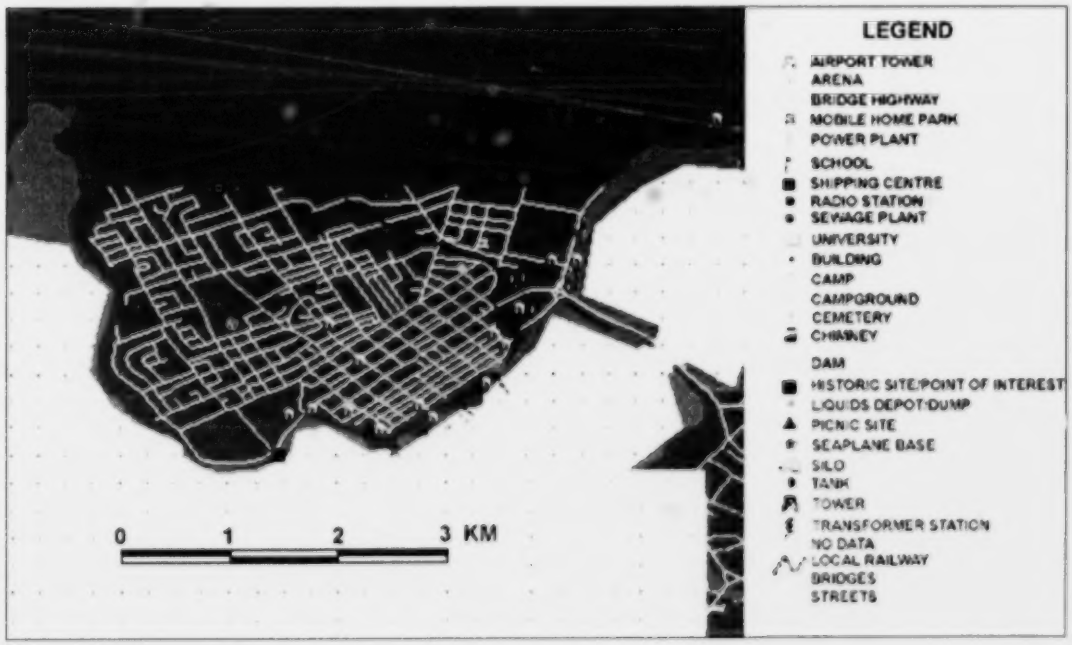
- Airport infrastructure (radar, terminal and tower)
- Hospital
- Mobile homes
- Multi-family dwellings
- Nursing homes
- Petro-chemical facilities
- Ports/Harbour facilities
- Power plant
- Schools
- Sewage plants
- Shopping centres
- Television/Radio stations

In addition, the following transportation and utility infrastructure resources are present in the City:

- High voltage power distribution
- Highway bridges
- Radio towers
- Residential power distribution

The above listed structures/infrastructure are shown in Figure 6.

Figure 6 Charlottetown Infrastructure



4.0 Storm Surge and Wind Impacts

4.1 Introduction

This section details the results of the CATS storm surge and wind damage model runs of the Charlottetown Area. The results of wind damage and coastal flooding predictions on local infrastructure and facilities were used as the basis for the development of site-specific and storm event specific precautionary and protective measures for the Charlottetown Area.

4.2 Storm Surge Consequence Modelling

Winter and tropical storms and Category 1, 2, and 3 hurricanes were modelled to assess the impacts of storm surge from the various storm conditions based on predicted water above chart datum. All CATS scenarios were run using tide heights within the normal range for Charlottetown (heights above CD). The levels used for each series of runs were 0.6 m (low tide), 1.8 m (medium tide) and 2.6 m (high tide).

4.2.1 Tropical Storms/Hurricanes

A tropical storm or hurricane is defined as a "tropical cyclone" originating in the North Atlantic ("typhoon" in the Pacific). A tropical cyclone is the generic term for a non-frontal synoptic scale low-pressure system over tropical or sub-tropical waters with organized convection (i.e. thunderstorm activity) and defined cyclonic surface wind circulation. A tropical cyclone is classified as a tropical storm when the maximum sustained surface winds exceed 34 knots (17 m/s). If the maximum sustained surface winds exceed 64 knots (33 m/s) they are called hurricanes. Hurricanes are further classified by their disaster-potential scale, which assigns storms to one of five categories. See Appendix A for the Saffir-Simpson Hurricane Scale. For this study Category 1, 2, and 3 hurricanes were modelled using various surge and tide heights. In each scenario the highest expected surge in each hurricane category and the highest expected tides were used. [7]

TROPICAL STORM

For a tropical storm, scenarios with an expected surge height of 1.2 m were modelled on a low, medium and high tide. The surge height of 1.2 m is a conservative height based on the lowest expected surge associated with a Category 1 hurricane. The results are shown in Figures 7, 8, and 9.

[7] Lowe's Storm 99 Hurricane Central: FAQ Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones Version 2.6 January 13, 1998.

Figure 7 CATS result – 0.6 m (low) tide with 1.2 m surge

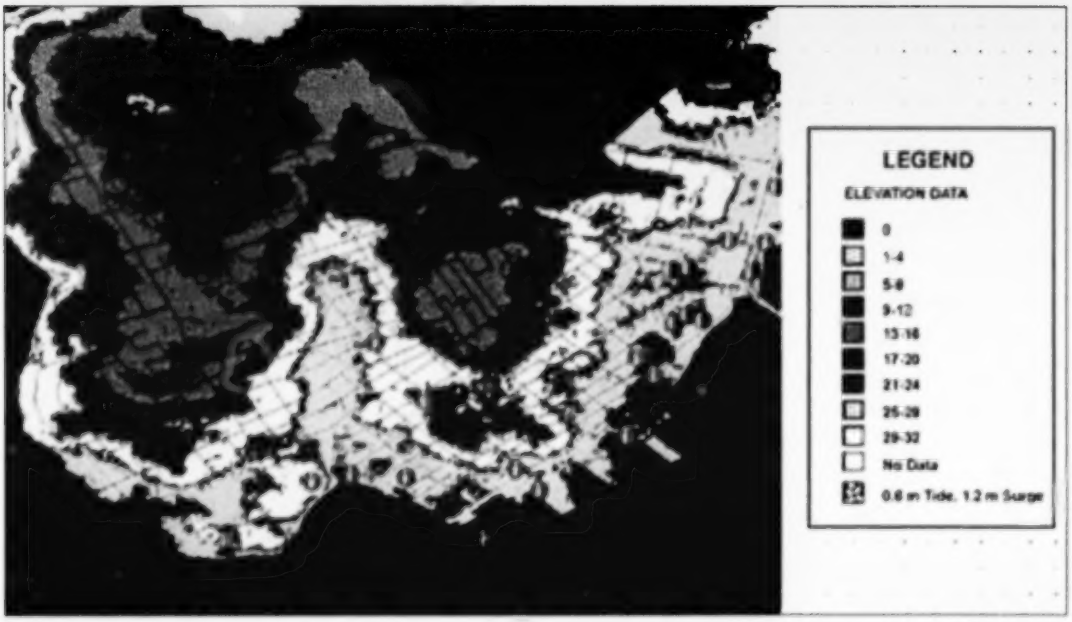


Figure 8 CATS result – 1.8 m (medium) tide with 1.2 m surge

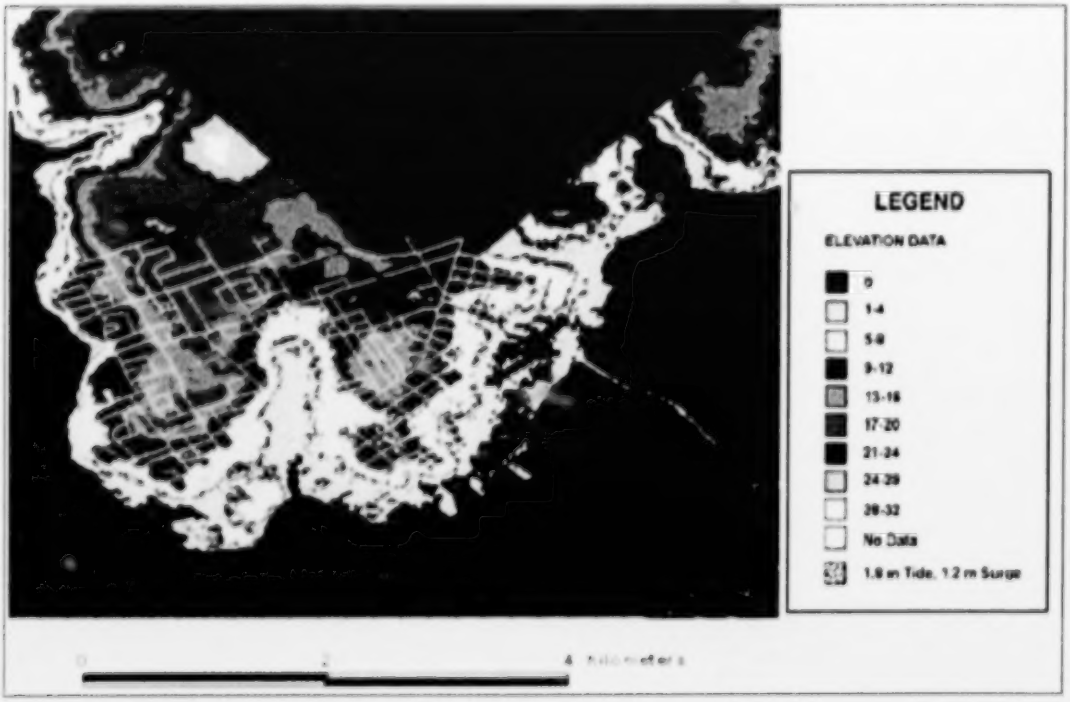


Figure 9 CATS result – 2.6 m (high) tide with 1.2 m surge

CATEGORY 1 AND 2 HURRICANES

Category 1 and 2 Hurricane scenarios with an expected surge height of 2.2 m were modelled on a low, medium, and high tide. The surge height of 2.2 m is based on the highest expected surge associated with these hurricanes. The results are shown in Figures 10, 11, and 12.

Figure 10 CATS result – 0.6 m tide with 2.2 m surge

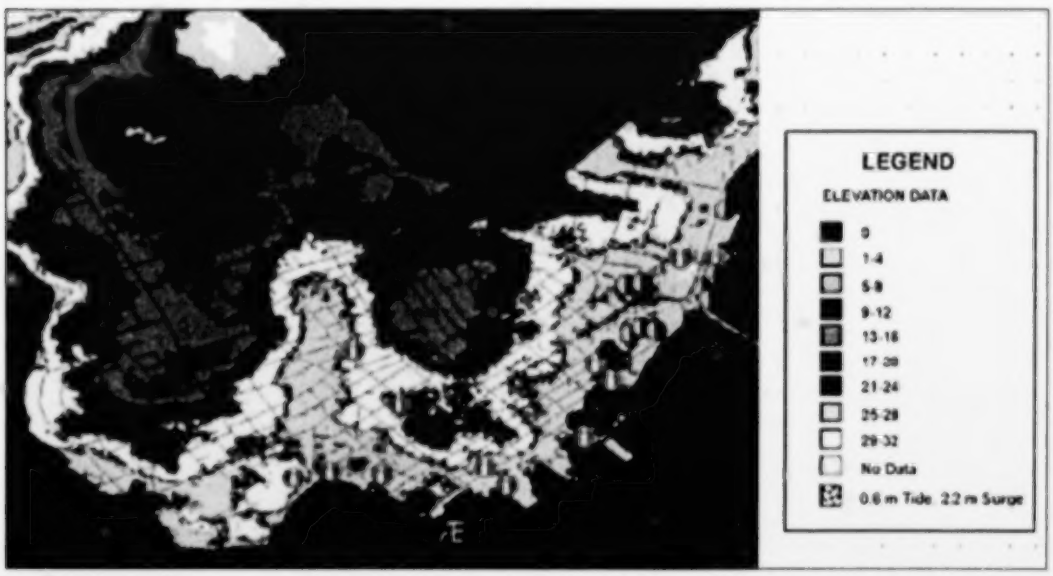


Figure 11 CATS result – 1.8 m tide with 2.2 m surge

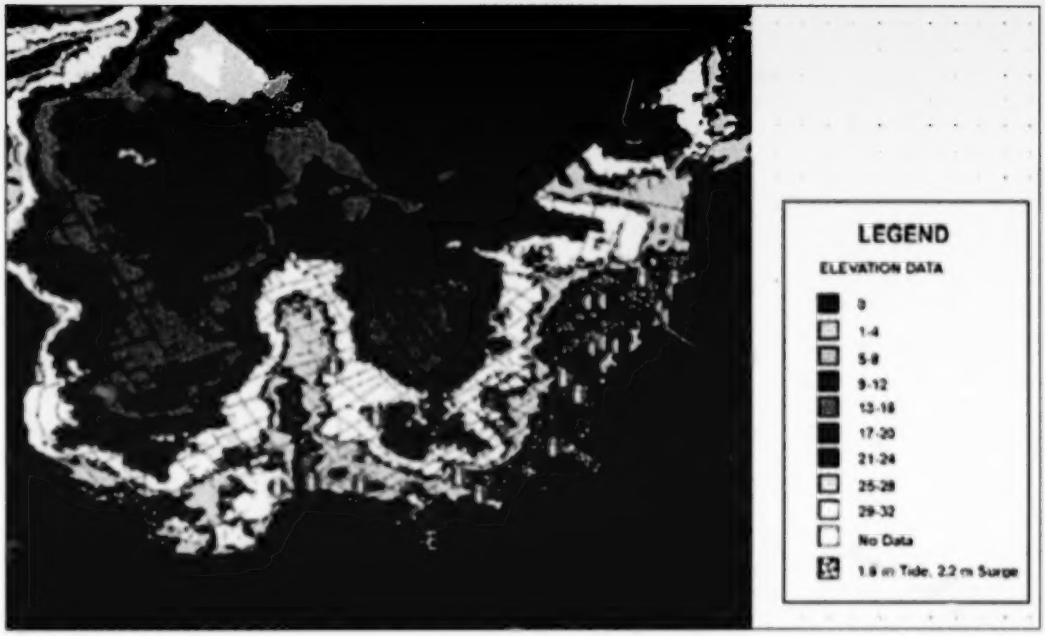
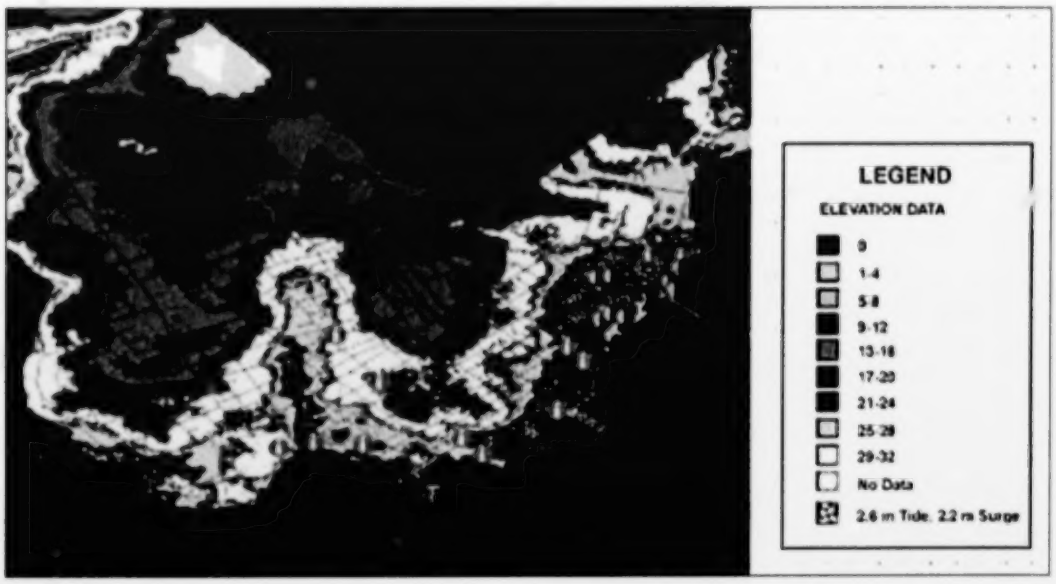


Figure 12 CATS result – 2.6 m tide with 2.2 m surge



CATEGORY 3 HURRICANE

For a Category 3 Hurricane, scenarios with an expected surge height of 2.8 m were modelled on a low, medium, and high tide. The surge height of 2.8 m is based on the highest expected surge associated with a Category 3 Hurricane. The results are shown in Figures 13, 14, and 15.

Figure 13 CATS result – 0.6 m tide with 2.8 m surge

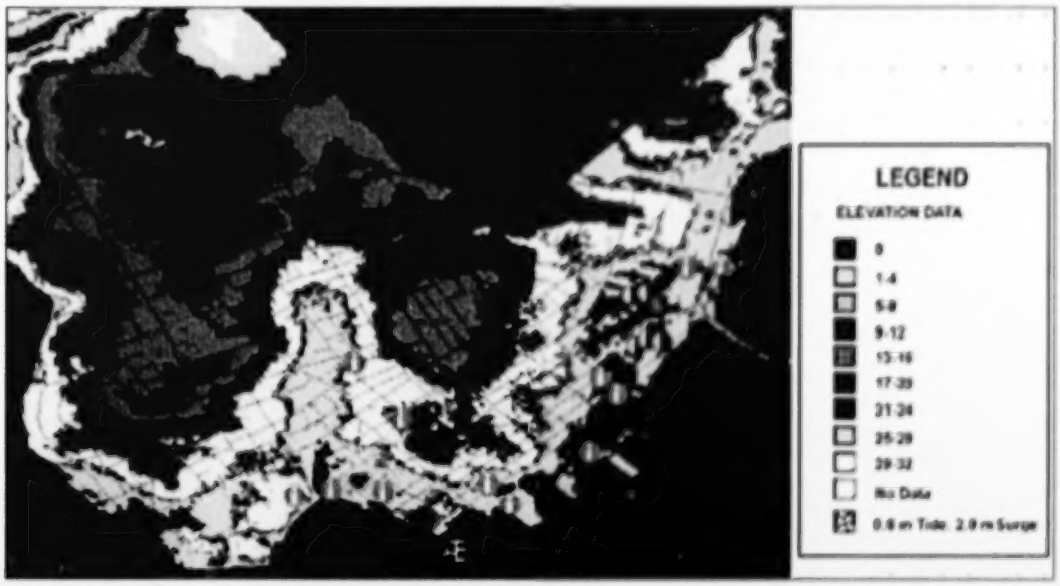


Figure 14 CATS result – 1.8 m tide with 2.8 m surge

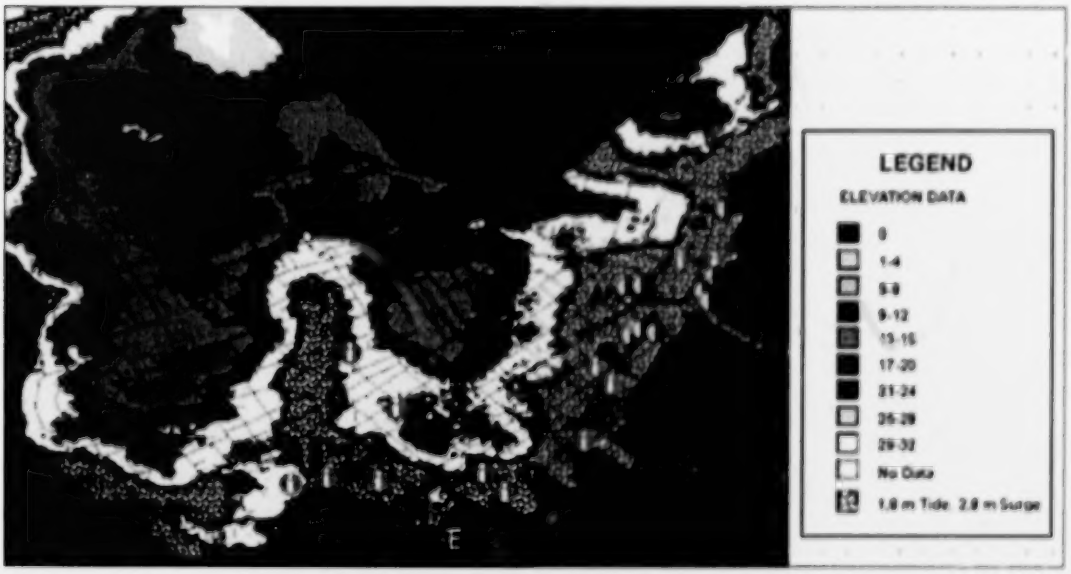
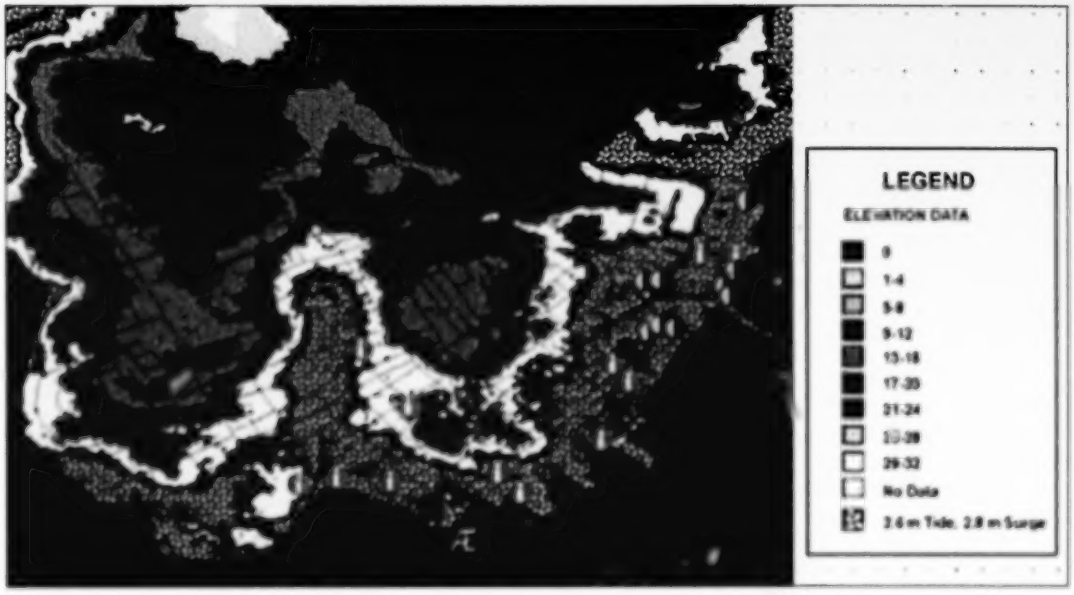


Figure 15 CATS result – 2.6 m tide with 2.8 m surge



4.2.2 Winter Storms

A winter storm is defined as an event when two or more conditions (e.g., wind and snow, or freezing rain followed by heavy snowfall) happen simultaneously to create extreme conditions. To identify winter storm scenarios, which could impact on Charlottetown, CATS models were run using various surge levels on different concurrent tide heights to determine which surge levels combined with which tide heights would cause flooding. For the model runs tide height was set at the highest predicted level above CD for the region (highest high water spring tide) and surge was increased in 0.2 m intervals commencing at 0.6 m (lowest predicted tide for the region) until the model predicted an impact on the city and ending with 2.6 m (highest predicted tide). Representative model runs are shown in Figures 16, 17, and 18.

Figure 16 CATS result – 0.6 m tide with 1.0 m surge

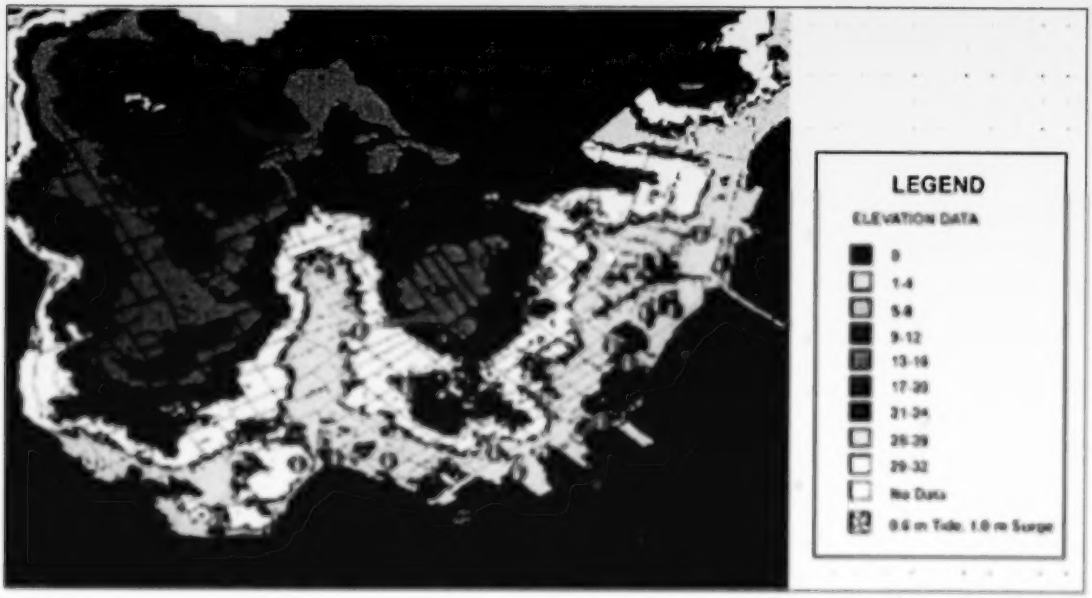


Figure 17 CATS result – 1.8 m tide with 1.0 m surge

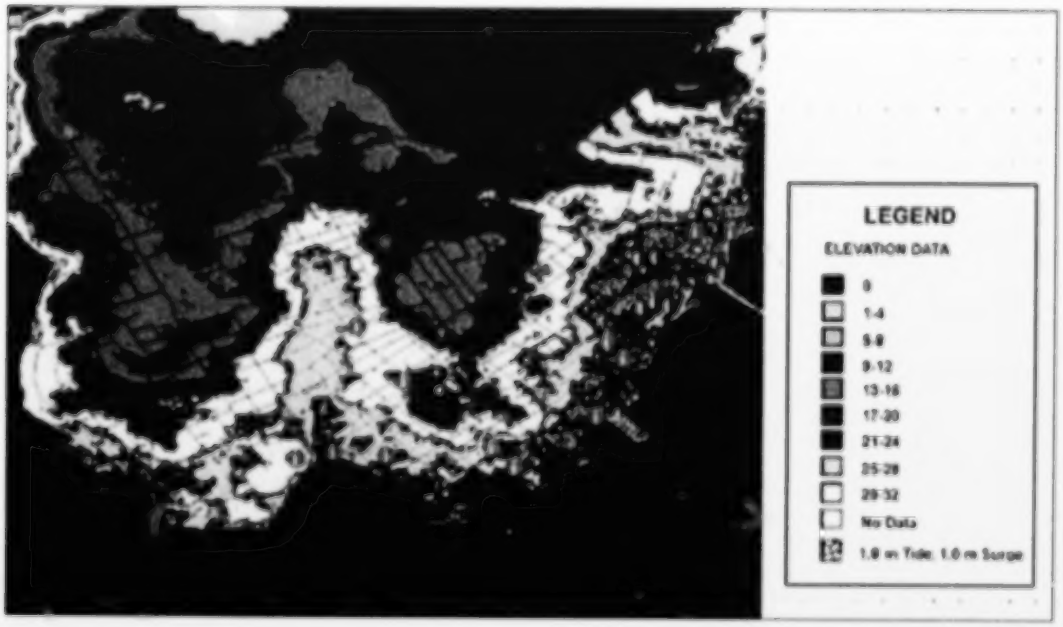
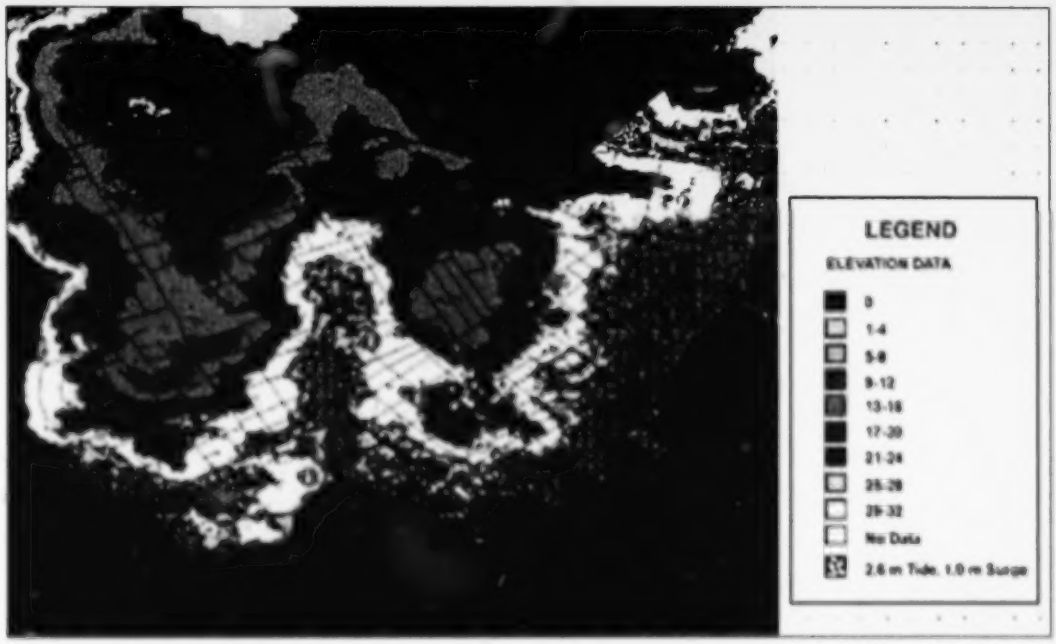


Figure 18 CATS result – 2.6 m tide with 1.0 m surge



4.2.3 CATS Results

As may be expected, each progressively higher combination of tide and storm surge resulted in a CATS estimation of flooding risk to a greater extent in Charlottetown. Accordingly, the risk of damage to infrastructure and effects on population in the flooded areas are increased. Based upon these results, precautionary and protective measures were developed as a tool to aid emergency managers in preparing for these events.

4.2.4 Precautionary/Protective Measures

The results indicate that all storms and hurricanes within or approaching the Gulf of Saint Lawrence should be tracked, and when a surge height of 0.8 to 1 m at low tide is predicted, precautionary actions should be considered. When a predicted surge of 1 m or greater on a rising or high tide protective actions should be considered. Based on this information the following table was developed:

Table 1 Storm Conditions and Recommended Actions

Tide Height	Surge Level	Recommended Action
0.6 m or above	0.5 m	Monitor
0.6 m or above	0.8 – 1.0 m	Track and update every hour Consider precautionary measures
0.6 m or above	>1.0 m	Track and update every hour Consider protective measures

4.3 Wind Consequences Modelling

The hurricane model scenarios were based on actual storms with wind and atmospheric pressures close to the maximum levels for each hurricane category. However, the track was changed to have the storm pass directly over the City of Charlottetown. The storms were also selected to show the effects of the varying wind conditions and pressure gradients. This is explained in more detail for each scenario. The scenarios and results for each storm category are described below. In all cases, the damage estimates shown in Figures 19 through 21 are for single-family residences only. However, Table 2 summarizes estimates of damage for a cross section of structures and storm categories.

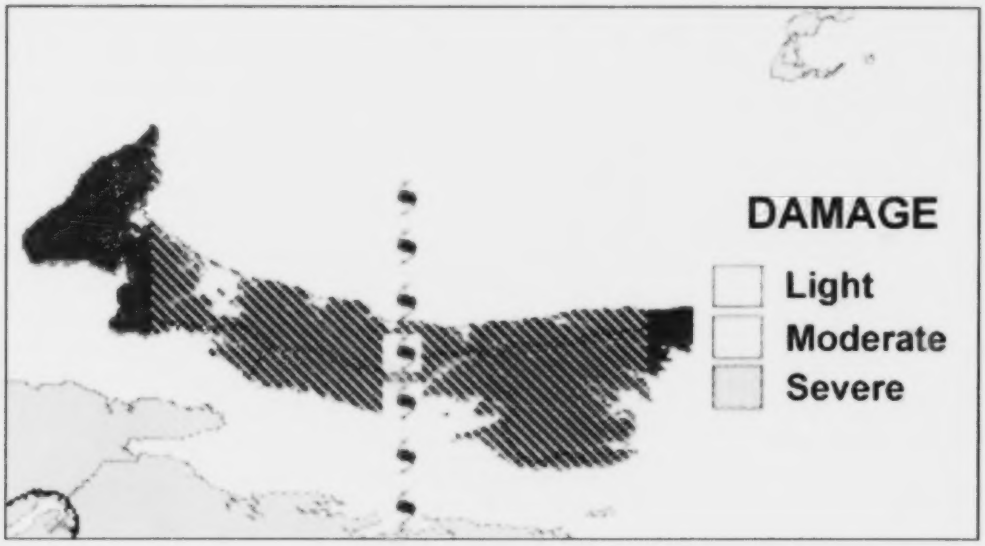
Hurricane data collected from forecasts and advisories includes the current and forecasted positions of the storm, its maximum wind speed, and the spatial distribution of the winds around the storm centre. In each quadrant of the storm, and for its current and forecasted positions, radial profiles of dynamic pressure and wind speed are analyzed by CATS. CATS then generates colour-coded damage bands which display the calculated probabilities of structural damage. The model correlates hurricane sustained wind velocities and dynamic pressure to predict damage to various structure types. Based on SAIC Canada's site survey, the model was populated with the various structures found in the City of Charlottetown (see Section 3 for details).

To identify storms in the region that may cause damage in Charlottetown, scenarios for winter and tropical storms and Category 1, 2, and 3 hurricanes were modelled. Each type and category of storm track was run directly over the centre of the city from south to north for hurricanes and tropical storms and west to east for winter storms (the prevailing tracks for the events). Subsequent runs were done on each side of the original track until no damage in the city was predicted. This procedure was used to identify the types/category and track of weather events that might impact Charlottetown. For tropical storms and winter storms, CATS was used to identify the minimum level of sustained wind velocities and dynamic pressures that could cause damage to residences.

4.3.1 Category 1 Hurricane

This scenario was based on Hurricane Emily, which occurred on 31 August 1993. For this scenario, winds of 150 km/h, with a pressure of 97.0 kilopascals (970 mb [millibars]) were modelled. Emily is an example of "typical hurricane" with a large eye (56 km) and sustained winds over a relatively small area. The results of the runs are shown in Figure 19.

Figure 19 CATS output – Category 1 hurricane tracking directly over Charlottetown

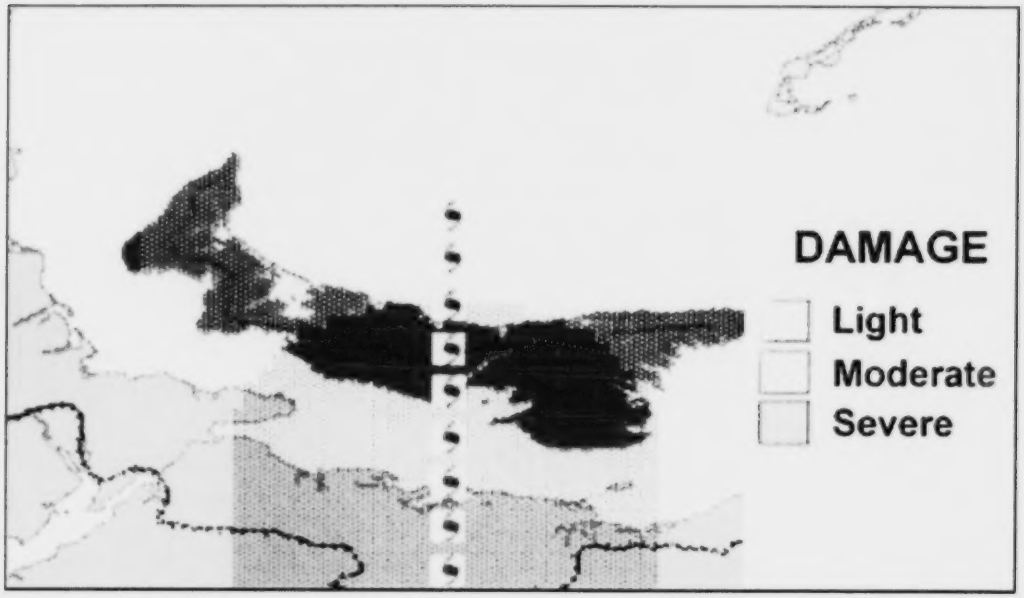


As shown above, the CATS model estimated light damage to most family residences. The same model run estimated light damage to all other structures, except for mobile homes. The damage to mobile homes was estimated as severe.

4.3.2 Category 2 Hurricane

This scenario was based on Hurricane Gert, which occurred on 13 September 1997. For this scenario, winds of 170 km/h, with a pressure of 94.9 kilopascals (949 mb) pressure were modelled. Gert is a good example of a storm with a large eye (56 km) and high-sustained winds over a large area, thus capable of creating widespread damage. The results of the run are shown in Figure 20.

Figure 20 CATS output – Category 2 hurricane tracking directly over Charlottetown



As shown above, the model estimated severe damage to mobile homes and single family homes in the Charlottetown Area. Subsequent runs estimated damage to most other structures ranging from light to severe.

4.3.3 Category 3 Hurricane

This scenario was based on Hurricane Andrew, which occurred on 24 August 1992. For this scenario, sustained winds of 200 km/h, with a pressure of 93.7 kilopascals (937 mb) were modelled. Andrew is a good example of a storm with high winds, tight pressure gradients, which accounts for the higher winds and a small eye (37 km). From this run, probabilistic and deterministic damage estimates indicate the likelihood of severe damage over a more concentrated area. The results of the run are shown in Figure 21.

Figure 21 CATS output – Category 3 hurricane tracking directly over Charlottetown

As shown above, the model estimated severe damage to most structures in Charlottetown and surrounding area. It also shows the potential for moderate to light damage at the extremities of the storm.

4.3.4 Tropical and Winter Storms

As tropical storms and severe winter storms have similar characteristic wind speeds, damage estimation is similar as well. In this case the approach is to identify the lower limits of winds that could cause damage. Initial model runs with decreasing winds and pressures were conducted until no damage was predicted.[8] The initial results indicate light damage to mobile homes with winds up to 110 km/h (See Figure 22) and light to moderate damage between 110 and 150 km/h. It also estimates light damage to single family residences from sustained winds between 110 and 150 km/h.

Figure 22 CATS output – winter storm, centre tracking directly over Charlottetown

[8] The model estimates wind damage only. It does not consider the effects from other winter storm conditions such as sleet, freezing rain or snow on the population or infrastructure.

4.3.5 Summary of Estimated Wind Damage

The following table gives a summary of CATS estimated wind damage for a cross section of structures for each storm category.

Table 2 CATS summary of damage by storm category

Structure	Category 1 Hurricane	Category 2 Hurricane	Category 3 Hurricane	Winter/Tropical Storms
Airport infrastructure	Nil	Light	Light to Moderate	Nil to Light
High voltage power distribution	Nil	Nil	Nil to Light	Nil
Highway bridges	Nil	Nil	Nil	Nil
Hospital	Nil	Light to Moderate	Moderate to Severe	Nil
Mobile homes	Moderate to Severe	Severe	Severe	Light to Moderate
Nursing homes	Nil	Moderate to Severe	Moderate to Severe	Nil
Power plant	Nil	Nil to Light	Light	Nil
Residential power distribution	Nil	Moderate to Severe	Moderate to Severe	Nil to Light
Schools	Nil	Moderate	Moderate to Severe	Nil
Shopping centres	Nil	Light to Severe	Moderate to Severe	Nil to Light
Single family residences	Light	Severe	Severe	Nil to Light

NOTE: In some cases damage estimates are given as a range (e.g. shopping centres show light to severe for Category 2 hurricanes). The results of the runs are deterministic for specific structure types and in some cases there are a variety of structure types included in the heading. For example, public buildings such as shopping centres or hospitals can vary in size and construction.

4.3.6 Precautionary/Protective Measures

The CATS runs confirmed that all storms impacting on the Gulf of Saint Lawrence and the other Maritime Provinces (NS, NB) have the potential to cause wind damage in the Charlottetown area. All storms with winds of greater than 100 km/h predicted to pass closer than 100 km of Prince Edward Island should be monitored. When a hurricane of any category is expected to pass within 200 km (based on CATS runs – Figures 19, 20, 21, and 22) of PEI, precautionary or protective actions should be considered in accordance with Table 3.

Table 3 Storm Categories and Recommended Actions

Storm Category	Recommended Action
Winter/Tropical Storm	• Monitor • Consider protective measures for mobile home residents • Consider precautionary measures for the general public
Category 1 Hurricane	• Track and update every hour • Implement precautionary measures • Consider protective measures
Category 2 Hurricane	• Track and update hourly • Implement protective measures
Category 3 Hurricane	• Track and update hourly • Implement protective measures

5.0 Charlottetown Localities Most At Risk

5.1 High Probability

The CATS storm surge and wind damage model runs show that the area with the highest probability of damage from storms is the Charlottetown waterfront. This is based on the combination of wind and flooding damage, the location of critical infrastructure, and impact on the population. The area with the highest probability of damage is shown in Figure 23.

Figure 23 CATS scenario showing the area of highest probability of storm damage.

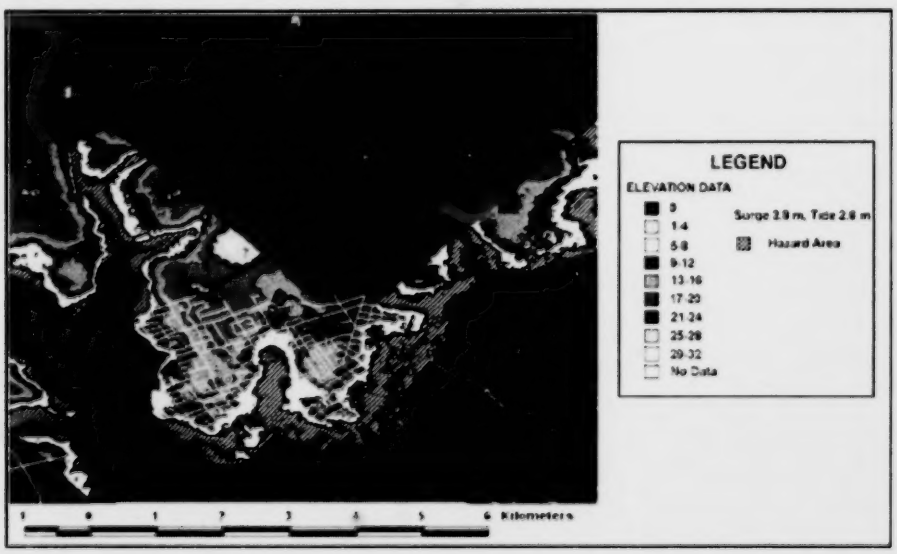


Figure 23 is the result of a CATS run using a high diurnal tide and a predicted surge level of one metre, similar to that forecasted for the winter storm of 1998. It depicts the area that is most likely to receive flood damage from the most probable storm scenarios (i.e. winter storm or tropical storm). Compounding the storm surge problem is the effects of high wind associated with the storms, resulting in light damage to single family homes and up to severe damage to mobile homes (see Figure 19).

5.2 High Consequences

Category 2 and 3 hurricanes have a lower probability of occurrence but, of course, would have a higher consequence to Charlottetown. The CATS runs of Category 2 and 3 hurricanes indicate an expanded flood plain resulting from storm surge and severe damage to most structures throughout the city (see Figures 20, 21, and 22 for wind damage and Figure 24 for estimated surge flooding).

Figure 24 CATS scenario showing the highest consequences of damage

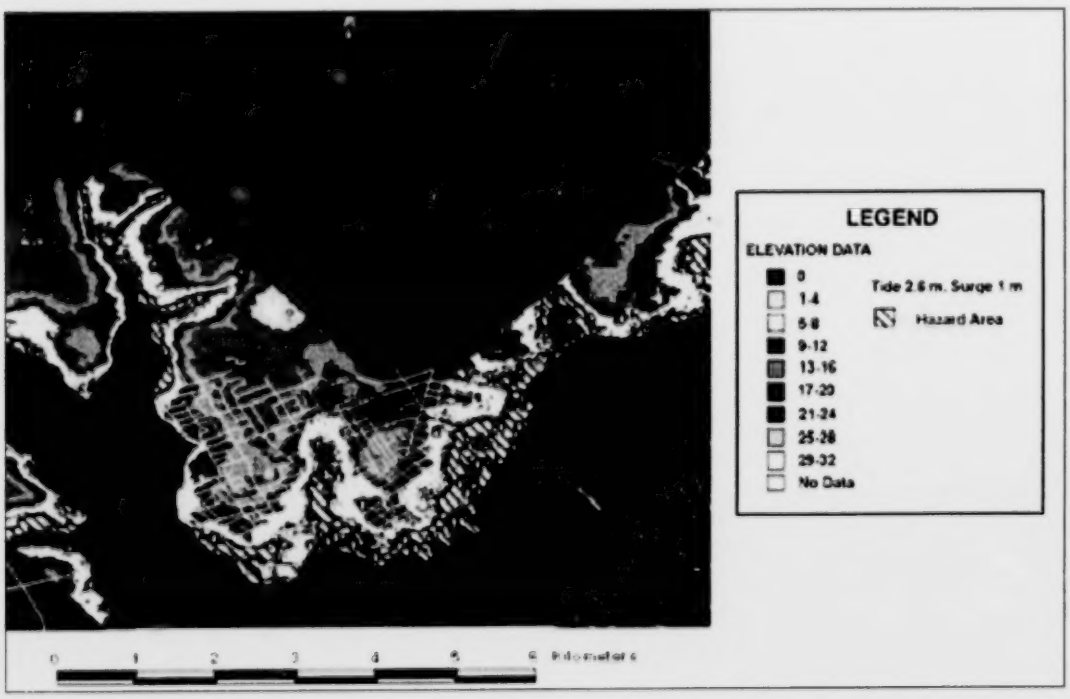


Figure 24 indicates results of flooding from a Category 3 hurricane with a storm surge of 2.8 metres on a 2.6 metre tide, a less likely occurrence but one of higher consequence. Accordingly, wind damage consequences would also be greater (see Figures 20 and 21 for details).

5.3 Infrastructure at Risk

The high probability damage area depicted in Figure 23 contains various types of infrastructure including utilities and public/private assets, which are at risk from storm surge flooding (see Figure 6 for infrastructure locations) and vulnerable to wind damage.

6.0 Response Actions

6.1 Emergency Management Cycle

As early as possible during an approach of a major storm or hurricane all levels of government should adopt an emergency management cycle that matches Environment Canada's storm advisory and warning releases. In other words, as a storm advisory, warning or update is received, the new data should be modelled and contingency plans developed and refined and/or response actions developed and implemented according to the new track and damage predictions and the local circumstances. Using this approach, the actual area where emergency actions may be required will be continuously defined and reduced. For example, at 72 hours prior to landfall a storm may or may not continue on the same track, with the same intensity and pressure. At 24 hours from landfall the general impact area can be estimated with reasonable accuracy. Between 12 and six hours prior to landfall the specific threatened areas and probable impacts will be more clearly defined. Using this approach, low or no cost general precautionary measures can be implemented initially over a larger area and the more expensive and disruptive protective measures can be limited to the area most at risk.

6.2 Precautionary/Protective Measures

The following site-specific precautionary and protective measures were developed based on the model results and SAIC Canada's experience. The measures will have to be validated by local emergency managers. The precautionary and protective measures and response action for a severe weather event that is likely to cause surge flooding and/or wind are detailed in Table 4.

Table 4 Precautionary and Protective Measures

Condition	Action
Precautionary	
Tropical/Winter Storms with wind of 120 to 150 km/hr	1. Issue public advisory.[9] 2. Consider evacuation of mobile homes.
Expected **Storm Surge** of 0.8 to 1.0 m	Consider: 1. Issue public advisories. 2. Evacuate special care facilities. 3. Weather-proof sewage plant(s), power generating stations and hospitals in high risk areas. 4. Have hospitals at risk form flooding implement early discharge protocol. 5. Evacuate hotels and apartment complexes in high risk areas. 6. Prepare to re-position vehicles and equipment from areas at risk to higher ground 7. Sand-bag around hospitals and refineries. 8. Limit access to waterfront and remove small vessels from water and shoreline.
Protective	
Hurricane Category 1, 2, or 3 Any hurricane condition[10]	1. Issue public warning. 2. Evacuate mobile homes.
Storm Surge >1.0 m	1. Issue public warning. 2. Evacuate special care facilities. 3. Move vulnerable assets to higher floors. 4. Move assets from areas at risk to safe locations. 5. Implement early discharge protocol at hospitals. 6. Cancel all non essential functions at hospitals in flood area. 7. Prevent access to waterfront. 8. Re-position or send vessels to sea.

[9] Public advisories/warnings are issued to warn residents to take personal precautionary actions (e.g. securing garden furniture).

[10] CATS Models indicated that mobile homes are most at risk of sustaining serious damage from major winter storms and hurricanes.

6.3 Response Guidance – Forecasted Hurricanes / Severe Storms

The following tables, which were developed based on results from the CATS model, provide planning considerations and operational guidance for responses to forecasted hurricanes and severe storms only – it does not address the risks associated with the implementation of various precautionary and protective measures, which are dependant upon and dictated by each situation. Accordingly, this guidance is intended for use within the all-hazard management context and the social and economic impacts will have to be assessed against the benefits that will be realized during the emergency.

Table 5 Response Guidance

FEDERAL	
72 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Commence storm modelling and continue until the storm makes landfall, dissipates, or alters course to the extent there is no longer a threat. 2. Use available information to conduct worst-case damage assessment. 3. Ensure continuous monitoring of situation by someone with authority (e.g., Duty Officer) to activate the emergency management system as required. 4. Notify and commence co-ordinating with responsible EMO Director(s). 5. Conduct initial staff check to determine availability and location of essential resources. 6. Identify, in order of priority, federal culturally important buildings, collections, and artifacts within the threatened area which should be protected. 7. Commence contingency planning. 8. Notify appropriate federal departments within the region. 9. Keep EMO, federal departments and OCIPEP fully apprised of the situation.
48 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Update damage assessment. 2. Staff emergency operations centre to an appropriate level. 3. Draft and distribute contingency plan (request feedback from action addressees). 4. Conduct a needs analysis to protect federal resources and respond to provincial requests. 5. Update list of essential federal infrastructure within the threatened area, which should be protected. 6. Co-ordinate with local federal response resources (e.g., Land Force Atlantic Area, Canadian Coast Guard & Regional Co-ordination Centre, Health Canada, etc.) as required. 7. Consider conducting joint briefings and planning. 8. Consider initial precautionary actions such as filling of sandbags and pre-positioning emergency dike material. 9. Consider, in consultation with all stakeholders, pre-positioning federal response resources (e.g., military units). 10. Commence formal situation reports. 11. Keep EMO, federal departments and OCIPEP fully apprised of the situation.

Table 5 Response Guidance
(Continued)

FEDERAL	
24 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Update damage assessment. 2. Update the needs analysis. 3. Update staff check on availability and location of local federal resources. 4. Inform OCIPEP of critical shortages. 5. Update list of essential federal infrastructure within the threatened area, which should be protected. 6. Update list of culturally important buildings, collections, and artifacts within the threatened area which should be protected. 7. Ensure EOC is located outside the threatened area. 8. Update and issue contingency planning. 9. Keep EMO, federal departments and OCIPEP fully apprised of the situation.
12 HOURS PRIOR TO LANDFALL TO THE END OF THE STORM	1. Update damage assessment. 2. Continue to monitor and provide resources as required. 3. Commence recovery planning. 4. Implement contingency plan. 5. Provide operational support as required. 6. Keep EMO, federal departments and OCIPEP fully apprised of the situation.

PROVINCIAL	
72 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Review and confirm CATS damage assessment. 2. Conduct a needs analysis (e.g., reception centres, temporary accommodations, emergency feeding, etc.) based on the damage assessment. 3. Conduct initial staff check to determine availability and location of essential provincial and private sector resources. 4. Identify, in order of priority, provincial culturally important buildings, collections, artefacts within the threatened area, which should be protected. 5. Ensure continuous monitoring of situation by someone with authority (e.g., Duty Officer) to activate the emergency management system as required. 6. Notify and commence co-ordination with responsible municipal officials. 7. Commence contingency planning. 8. Notify appropriate provincial departments. 9. Keep the municipality, provincial departments, and OCIPEP fully apprised of the situation.

Table 5 Response Guidance
(Continued)

PROVINCIAL	
48 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Review and confirm CATS damage assessment. 2. Update the needs analysis (e.g., reception centres, temporary accommodations, emergency feeding, etc.) based on the damage assessment. 3. Ensure PEOC is located outside the threatened area and staffed to appropriate level. 4. Consider re-locating essential provincial records. 5. Consider precautionary measures such as full or partial evacuation of hospitals and other similar institutions that required a great deal of time to safely re-locate. 6. Consider precautionary measures such as a full or partial evacuation of non-essential resources in the threatened area that require a great deal of time and/or human resources to safely relocate. 7. Consider precautionary measures for essential infrastructure, such as sand-bagging and emergency diking. 8. Update staff check on availability and location of essential provincial and private sector resources. 9. Draft and distribute contingency plan (request feedback from action addressees). 10. Consider opening a provincial/joint media centre. 11. Consider releasing a public warning, with recommended precautionary actions. 12. Update priorities for provincial culturally important buildings, collections, and artifacts within the threatened area which should be protected. 13. Ensure continuous monitoring of situation by someone with authority (e.g., Duty Officer) to activate the emergency management system as required. 14. Ensure departments update and implement their continuity of business plans. 15. Commence formal situation reporting. 16. Keep the municipality, provincial departments, and OCIPEP fully apprised of the situation.
24 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Update damage assessment. 2. Update the needs analysis. 3. Pre-position required provincial response resources. 4. Consider opening a provincial/joint media centre. 5. Commence setting up reception centres. 6. Consider declaring a provincial state of emergency. 7. Warn (place on standby) essential services and goods providers. 8. Consider a public advisory to minimize access to the threatened area. 9. Provide resources and assistance to the municipalities as required. 10. Issue provincial contingency plan. 11. Continue to monitor and react to municipal requests. 12. Keep the municipality, provincial departments, and OCIPEP fully apprised of the situation.

Table 5 Response Guidance
(Continued)

PROVINCIAL	
12 HOURS PRIOR TO LANDFALL TO THE END OF THE STORM	1. Update damage assessment. 2. Continue to monitor and provide resources as required. 3. Fully staff PEOC. 4. Activate media and public inquiry centre(s). 5. Implement contingency plan. 6. Conduct emergency operations. 7. Commence recovery planning. 8. Keep the municipality, provincial departments, and OCIPEP fully apprised of the situation.

MUNICIPAL	
72 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Review and confirm CATS damage assessment. 2. Conduct a needs analysis (e.g., reception centres, temporary accommodations, emergency feeding, etc.) based on the damage assessment. 3. Notify municipal departments (e.g., Public Works, Police, Fire, etc.). 4. Notify adjoining/mutual aid communities. 5. Conduct initial staff check on availability and location of essential municipal and private sector resources. 6. Inform EMO of critical shortages. 7. Identify, in order of priority, essential infrastructure (water reserves, telephone exchange, etc.) within the threatened area, which should be protected. 8. Identify, in order of priority, culturally important buildings, collections, and artefacts within the threatened area which should be protected. 9. Consider initial precautionary actions such as filling sandbags and pre-positioning emergency dike material. 10. Commence contingency planning. 11. Keep EMO, municipal departments and adjoining and mutual aid communities fully apprised of the situation.

Table 5 Response Guidance
(Continued)

MUNICIPAL	
48 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Update damage assessment. 2. Ensure the emergency operations centre is located outside of the threatened area. 3. Staff emergency operations centre to an appropriate level. 4. Consider precautionary measures such as a full or partial evacuation of non-essential resources in the threatened area that require a great deal of time and/or human resources to safely relocate. 5. Consider precautionary measures for essential infrastructure, such as sand-bagging and emergency diking. 6. Draft and distribute contingency plan (request feedback from action addressees). 7. Co-ordinate with and task municipal departments (e.g., police services should update and confirm the municipal evacuation, traffic control, and access control plans). 8. Plan for the re-location of essential and expensive equipment, such as fire apparatus, vehicle fleets, etc. 9. Consider relocating essential records. 10. Consider opening a municipal/joint media centre. 11. Consider releasing a public warning, with recommended precautionary actions. 12. Ensure departments update and implement their continuity of business plans, in accordance with the planning time-lines. 13. Commence formal situation reporting. 14. Keep EMO, municipal departments and adjoining and mutual aid communities fully apprised of the situation.
24 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Update damage assessment. 2. Update the needs analysis (e.g. reception centres, emergency feeding, etc.) based on the damage assessment. 3. Continue with the implementation of precautionary measures, in accordance with the established priority. 4. Open municipal/joint media centre. 5. Warn (place on standby) essential services and goods providers. 6. Commence routine media updates and advisories. 7. Consider declaring a local state of emergency. 8. Recommend relocating live stock from the threatened area. 9. Recommend voluntary evacuation. 10. Commence registration and inquiry (R & I) services. 11. Issue municipal contingency plan. 12. Continue to monitor and react to city department and citizens' requests. 13. Keep EMO, municipal departments and adjoining and mutual aid communities fully apprised of the situation.

Table 5 Response Guidance
(Continued)

MUNICIPAL	
12 HOURS PRIOR TO LANDFALL TO THE END OF THE STORM	1. Update damage assessment. 2. Fully activate the municipal emergency operations centre. 3. Activate media and public inquiry centre(s). 4. Order a general evacuation of the threatened area. 5. Implement traffic and access control. 6. Implement contingency plan. 7. Relocate essential equipment and vehicle fleets. 8. Close recreational areas. 9. Issue public warnings. 10. Conduct emergency operations. 11. Commence recovery planning. 12. Keep EMO, municipal departments and adjoining and mutual aid communities fully apprised of the situation.

7.0 Mitigating Measures

The following mitigation measures are offered for consideration only. Further research (e.g., cost/benefit analysis) beyond the scope of this project is required before a mitigation policy and plan can be developed.

Key Infrastructure

The building of dikes around infrastructure/facilities that are near the shoreline, such as hospitals, that are vulnerable to storm surge flooding should be considered. Use of ground floor and sub-ground floors for low risk activities only should be considered. Emergency systems such as back-up power generators should be located on the roof or an upper floor.

Sewage plants are often located near the shoreline. Dikes may be an option, however a more efficient option may be to reduce operations and weatherproof (i.e. close/reinforce inflows and outflows) as a precaution when a storm surge is forecasted.

Shoreline Areas

Coastal cities have a lot of shoreline areas that are vulnerable to storm surge flooding. Zoning controls and building codes should be used to limit and control development in the flood plains.

Mobile Homes

Wind damage modelling, supported by past-event evidence, predicts that mobile homes are prone to significant structural damage during winter/tropical storms and a Category 1 or greater hurricane. Zoning and building codes (e.g. location and/or anchoring requirements) may be appropriate.

8.0 Conclusion

History has shown that the Maritime Provinces are susceptible to extreme weather, and with predicted climate changes the tendency appears to be moving toward an increase in storm frequency and intensity. The Charlottetown study illustrates the potential hazard to population, critical infrastructure, and industry from the effects of surge and wind from hurricanes, tropical storms, and severe winter storms.

This storm surge study provided data on the likely impact of storm surge and wind from hurricanes, tropical storms, and severe winter storms on Charlottetown. From the CATS models it was determined that storm surge, associated with tropical and frontal storms can have a severe impact on structures built in low-lying areas or near the shore from storm surge. In addition, the complete city area is vulnerable to wind damage.

For maximum accuracy it is necessary to populate CATS with detailed (high-resolution) electronic topographic mapping and databases containing critical infrastructure (with precise geographic locations) and population. Currently, only a small portion of the Maritime Provinces have been mapped using LIDAR, and few electronic databases of infrastructure and resources have been compiled, yet all coastal regions are subject to similar storm effects.[11]

CATS software is controlled by the United States federal government, and is currently available to OCIPEP under the Canada-U.S.A government-to-government program. It is recommended that the software used in the Charlottetown study be transferred to the Director of OCIPEP in Prince Edward Island to support provincial operations, and that OCIPEP control the software and allow its controlled use through a secure Web site or similar media. SAIC Canada will address licensing requirements for the transfer.

A great deal of work went into collecting data, developing the software, and modelling the various storm surge and wind damage scenarios. However, the real and most important work is the production of a working storm surge prediction and wind damage-modelling tool (within the CATS environment) for Charlottetown. This provides a real-time prediction model that could be used to guide emergency managers in the development of mitigation measures and response actions. Once the necessary data is available, the remaining risk areas throughout the Maritime Provinces can be similarly addressed.

[11] Population figures should be available through census records.

Appendix A – Saffir-Simpson Hurricane Scale

The Saffir-Simpson Hurricane Scale is a 1–5 rating of the hurricane's present intensity based on its force. The way storm surge, wind, and other factors combine determine the hurricane's destructive power. To make comparisons easier and to make predicting hazards of approaching hurricanes clearer to emergency forces, the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration's hurricane forecasters use a disaster-potential scale which assigns storms to one of five categories. Category 1 is a minimum hurricane; Category 5 is the worst case. The criteria for each category are detailed in the table below.

Category	Wind Speed and Pressure	Effects and Examples	Storm Surge (metres)
1	119–153 km/h (>98 kPa) >980 mb	Damage primarily to unanchored mobile homes, shrubbery and trees. Also, some coastal road flooding and minor pier damage. *Example:* Hurricane Erin (1995)	1–1.7
2	154–177 km/h (96.5–97.9 kPa) 965–979 mb	Some roofing material, door, and window damage to buildings. Considerable damage to vegetation, mobile homes and piers. Coastal and low-lying escape routes flood 2–4 hours before the arrival of centre. Small craft in unprotected anchorages break moorings. *Examples:* Hurricanes Bertha (1996), George (Keys landfall) (1998)	1.8–2.6
3	178–209 km/h (94.5–96.4 kPa) 945–964 mb	Some structural damage to small residences and utility buildings, with a minor amount of curtain-wall failures. Mobile homes are destroyed. Flooding near the coast destroys smaller structures with larger structures damaged by floating debris. Terrain continuously lower than 1.5 m ASL may be flooded inland 13 km or more. *Examples:* Hurricanes Opal (1995), Fran (1996)	2.7–3.8
4	210–249 km/h (92–94.4 kPa) 920-944 mb	More extensive curtain-wall failures with some complete roof structure failure on smaller residences. Major erosion of beach areas. Major damage to lower floors of structures near the shore. Terrain continuously lower than 3 m ASL may be flooded, requiring massive evacuation of residential areas inland as far as 10 km or more. *Example:* Hurricane Andrew (1992)	3.9–5.6
5	>249 km/h (>92 kPa) >920 mb	Complete roof failure on many residences and industrial buildings. Some complete building failures with small utility buildings blown over or away. Major damage to lower floors of all structures located less than 4.5 m ASL within 450 m of the shoreline. Massive evacuation of residential areas on low ground within 8–16 km of the shoreline may be required. *Examples:* Hurricanes Camille (1996) and Mitch (1998)	5.7 +

Appendix B – References

Bobanovic, J., Thompson, K., Desjardins, S. & Ritchie, H., 2000. Real-time forecasts of the January 21st storm surge in Atlantic Canada. *Abstracts, Canadian Meteorological and Oceanographic Society, 34th Congress*, Victoria, BC.

Coastal Impacts of Climate Change on Prince Edward Island, 2001.
Donald L. Forbes[1], Martha McCulloch[2], George Parkes[2], Keith Thompson[3], Richard Chagnon[4], Kelly MacDonald[5], Mike Milloy[5], Gavin Manson[1], Charles O'Reilly[5], Natacha Bernier[3], Josko Bobanovic[3], Hal Ritchie[2], Tim Webster[7], Steve Dickie[7], Bob Maher[7], Don Poole[8]
[1]Geological Survey of Canada [GSC], Natural Resources Canada, Dartmouth, NS.
[2]Meteorological Service of Canada [MSC], Environment Canada, Dartmouth, NS.
[3]Department of Oceanography, Dalhousie University, Halifax, NS.
[4]Canadian Ice Service [CIS], Environment Canada, Ottawa, Ontario.
[5]Environment Canada Corporate Affairs Division [EC/CA], Dartmouth, NS.
[6]Canadian Hydrographic Service [CHS], Department of Fisheries and Oceans, Dartmouth, NS.
[7]Centre of Geographic Sciences [COGS], Nova Scotia Community College, Lawrencetown, NS.
[8]City of Charlottetown, Charlottetown, PEI.

Forbes, D. L. Parkes, G., O'Reilly, C., Daigle, R., Taylor, R. & Catto, N., 2000. Storm-surge, sea-ice, and wave impacts of the 21–22 January 2000 storm in coastal communities of Atlantic Canada.

Lane, P. & Associates Ltd., 1988. Preliminary study of the possible impacts of a one metre rise in sea level at Charlottetown, Prince Edward Island. Environment Canada, Climate Change Digest 88-02, 7 pp. and map.

Lowe's Storm 99 Hurricane Central: FAQ Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones Version 2.6, 13 January 1999.

Parkes, G. S., Forbes, D. L. & Ketch, L. A., 2001. Sea-level rise. Appendix 1, Part 1, in: *Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island* (Shaw, R., editor). Final report to Climate Change Action Fund, Ottawa (forthcoming).

Webster, T., Forbes, D. L., Dickie, S., Covill, R. A. & Parks, G., 2001. Airborne imaging, digital elevation models and flooding maps. In: Coastal impacts of climate change and sea level rise on Prince Edward Island (Shaw, R. W. & Forbes, D. L., editors) Geological Survey of Canada, Open File [no. pending], Supporting Document 4.

Government of Canada | Gouvernement du Canada

Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness

Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile

ANALYSE DES RÉPERCUSSIONS D'UNE ONDE DE TEMPÊTE DANS LA RÉGION DE CHARLOTTETOWN À L'ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD

Remerciements

La présente publication a été préparée pour le :

**Bureau de la protection
des infrastructures essentielles et
de la protection civile**

2e étage, Édifice Jackson
122, rue Bank
Ottawa (Ontario) K1A 0W6
Tél. : (613) 944-4875
Sans frais : 1-800-830-3118
Téléc. : (613) 998-9589
Courriel : communications@ocipep-bpiepc.gc.ca
Internet: www.ocipep-bpiepc.gc.ca

Auteurs :

James Bruce
Science Applications International Corporation (SAIC Canada)

Le présent contenu est fondé sur le travail appuyé par la Division de la recherche et du développement du Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile (BPIEPC/DRD), anciennement Planification d'urgence Canada, sous le numéro de référence du contrat 2001D005. Toute opinion, constatation, conclusion ou recommandation exprimée dans le présent contenu est celle de l'auteur et ne représente pas nécessairement le point de vue du Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile.

© SA MAJESTÉ LA REINE DU CHEF DU CANADA (2002)
N° de catalogue : D82-83/2003F-PDF
ISBN : 0-662-89773-0

ArcView est une marque de commerce d'ESRI.

Tous les autres noms de produit et d'entreprise peuvent être des marques de commerce ou des marques de commerce enregistrées des entreprises respectives.

Sommaire

La région de l'Atlantique du Canada est souvent soumise à des phénomènes météorologiques violents, principalement durant la saison des ouragans à la fin de l'été et au début de l'automne, lorsque les tempêtes tropicales et les ouragans de catégorie 2 à l'échelle Saffir-Simpson sont chose commune (et où des ouragans de catégorie 3 sont survenus). De même, durant les mois d'hiver, des tempêtes hivernales accompagnées de vents forts et de neige ou de pluie verglaçante couvrent la région. Souvent, ces tempêtes sont accompagnées d'une onde qui inonde les zones riveraines et les terres basses. L'Île-du-Prince-Édouard a été soumise à cette température extrême à plusieurs reprises; la plus dramatique a eut lieu en janvier 2000 lorsque la côte nord-ouest de l'Î.P.É. et la ville de Charlottetown ont subi une importante inondation.

La côte de l'Î.P.É. est fortement indentée, résultat d'une élévation relative du niveau de la mer à long terme qui occasionne l'inondation des vallées fluviales pour former des estuaires allongés. Charlottetown est situé dans un port protégé formé par la confluence de deux de ces vallées inondées. En se basant sur une analyse des données de mesure des marées depuis 1911, le taux moyen d'élévation relative du niveau de la mer à Charlottetown au cours du siècle dernier est de 3,2 mm par année, taux passablement plus élevé que l'estimation de 2 mm par année durant les 2000 ans qui ont précédé. Les données géologiques supposent également un retrait à long terme des côtes à des taux supérieurs à 0,5 m par année. Cette condition, ajoutée à l'augmentation du nombre et de l'intensité des tempêtes découlant du changement climatique, rend Charlottetown de plus en plus vulnérable à l'onde de tempête et aux inondations.

C'est un fait reconnu que l'onde de tempête est la cause de la plupart des dommages et des pertes de vie durant les ouragans et que la plus grande partie des efforts est allée au développement des façons de prédire et de prévenir la population de l'imminence des tempêtes et de l'onde de tempête. Pour faire un meilleur usage des avertissements dans la préparation face aux phénomènes météorologiques violents, les planificateurs municipaux ont besoin d'outils pour guider les mesures d'atténuation [par exemple, les mesures d'ingénierie (digues, glissières de sécurité, etc.) et les contrôles administratifs (zonage pour l'utilisation des terres, code du bâtiment, etc.)]. Les gestionnaires des urgences ont besoin d'outils pour guider les mesures de précaution [par exemple, le repositionnement de l'équipement, l'évacuation sélective (les installations de soins spéciaux)] et les mesures de protection [par exemple, l'évacuation général] ainsi que pour intervenir avec rapidité et efficacité. Un tel outil fait partie de la trousse d'outils d'évaluation de conséquences (TOEC) élaborée par Science Applications International Corporation (SAIC). Pour être utilisé dans la région de Charlottetown, le modèle de la TOEC a été validé selon les cartes d'inondation produites par le projet A041, Fonds d'action pour le changement climatique (FACC), portant sur le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer et leurs répercussions sur les côtes de l'Île-du-Prince-Édouard.

Cette étude sur l'onde de tempête a mis à contribution la TOEC, en y ajoutant des données géographiques et d'infrastructure de la ville de Charlottetown, afin de modéliser diverses conditions de tempêtes tropicales et de front ainsi que d'onde de tempête.

Les résultats de la modélisation de la TOEC indiquent qu'une marée haute diurne et un niveau d'onde prévu de un mètre, semblables à ceux prévus lors de la tempête hivernale de 1998, est

l'événement le plus probable qui pourrait vraisemblablement avoir des répercussions sur Charlottetown. Ces conditions pourraient causer de graves inondations au centre-ville. La combinaison du problème d'onde de tempête à l'effet de vents forts associés aux tempêtes entraînerait des dommages légers aux maisons unifamiliales et des dommages importants aux maisons mobiles. Aux fins de planification et d'intervention, d'autres conditions comportant des conséquences plus importantes mais une probabilité moindre (des ouragans de catégories 2 et 3) ont été modélisées et des mesures de précaution et de protection ont été élaborées.

L'histoire a démontré que les provinces maritimes sont sujettes à des conditions météorologiques exceptionnelles et, avec les changements climatiques prévus, la tendance laisse apparaître une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes. L'étude sur Charlottetown illustre le danger potentiel pour la population, les infrastructures essentielles et l'industrie provoqué par l'onde de tempête et le vent causés par les ouragans, les tempêtes tropicales et les tempêtes hivernales violentes.

Table des matières

Remerciements ii

Sommaire iv

1.0 Introduction 1
- 1.1 But 1
- 1.2 Portée 1
- 1.3 Description de la région étudiée 2
- 1.4 Définitions 2
- 1.5 Appui au rapport 3

2.0 Le modèle des dommages causés par une tempête 3
- 2.1 Introduction 3
- 2.2 Trousse d'outils d'évaluation de conséquences 4
- 2.3 Données cartographiques 4
- 2.4 Validation du modèle d'onde de tempête 5
  - 2.4.1 Étalonnage du modèle 5
  - 2.4.2 Comparaison de la TOEC avec les modèles du FACC 6

3.0 Infrastructure de Charlottetown 9

4.0 Impacts de l'onde de tempête et du vent 11
- 4.1 Introduction 11
- 4.2 Modélisation des conséquences de l'onde de tempête 11
  - 4.2.1 Tempêtes tropicales ou ouragans 11
  - 4.2.2 Tempêtes hivernales 16
  - 4.2.3 Résultats de la TOEC 18
  - 4.2.4 Mesures de précaution et de protection 18
- 4.3 Modélisation des conséquences des vents 19
  - 4.3.1 Ouragan de catégorie 1 20
  - 4.3.2 Ouragan de catégorie 2 20
  - 4.3.3 Ouragan de catégorie 3 21
  - 4.3.4 Tempêtes tropicales et hivernales 23
  - 4.3.5 Résumé des dommages estimés causés par les vents 24
  - 4.3.6 Mesures de précaution et de protection 25

5.0 Zones les plus à risque de Charlottetown 26
- 5.1 Forte probabilité 26
- 5.2 Conséquences importantes 27
- 5.3 Infrastructures à risque 28

6.0 Mesures d'intervention 28
- 6.1 Emergency Management Cycle 28
- 6.2 Mesures de précaution et de protection 28
- 6.3 Guide d'interventions – Tempêtes violentes et ouragans prévus 30

7.0 Mesures d'atténuation 36

8.0 Conclusion 37

Annexe A – Échelle d'ouragan Saffir-Simpson A-1
Annexe B – Références B-1

1.0 Introduction

La région de l'Atlantique du Canada est souvent soumise à des phénomènes météorologiques violents, principalement durant la saison des ouragans à la fin de l'été et au début de l'automne, lorsque les tempêtes tropicales et les ouragans de catégorie 2 à l'échelle Saffir-Simpson sont chose commune (et où des ouragans de catégorie 3 sont survenus). De même, durant les mois d'hiver, des tempêtes hivernales accompagnées de vents forts et de neige ou de pluie verglaçante couvrent la région. Souvent, ces tempêtes sont accompagnées d'une onde qui inonde les zones riveraines et les terres basses. L'Île-du-Prince-Édouard a été soumise à cette température extrême à plusieurs reprises; la plus dramatique a eut lieu en janvier 2000 lorsque la côte nord-ouest de l'Î.P.É. et la ville de Charlottetown ont subi une importante inondation.

C'est un fait reconnu que l'onde de tempête est la cause de la plupart des dommages et des pertes de vie durant les ouragans et que la plus grande partie des efforts est allée au développement des façons de prédire et de prévenir la population de l'imminence des tempêtes et de l'onde de tempête. Pour faire un meilleur usage des avertissements pour se préparer à des conditions météorologiques exceptionnelles, les planificateurs municipaux ont besoin d'outils pour guider les mesures d'atténuation. Les gestionnaires des urgences ont besoin d'outils pour guider les mesures de précaution et les mesures de protection ainsi que pour intervenir avec rapidité et efficacité. Un tel outil fait partie de la trousse d'outils d'évaluation de conséquences (TOEC) élaborée par Science Applications International Corporation (SAIC).

Cette étude sur l'onde de tempête a mis à contribution la TOEC, en y ajoutant des données géographiques et d'infrastructure de la ville de Charlottetown, afin de modéliser diverses conditions de tempêtes tropicales et de front ainsi que d'onde de tempête. Fondé sur les résultats des séquences d'utilisation du modèle, un modèle des effets prévus d'une onde de tempête et des vents sur les infrastructures de Charlottetown a été élaboré, y compris des mesures de précaution, de protection et d'intervention.

1.1 But

Le but du présent rapport est de documenter les résultats de l'étude de SAIC Canada portant sur l'onde de tempête dans la région de Charlottetown à l'Île-du-Prince-Édouard.

1.2 Portée

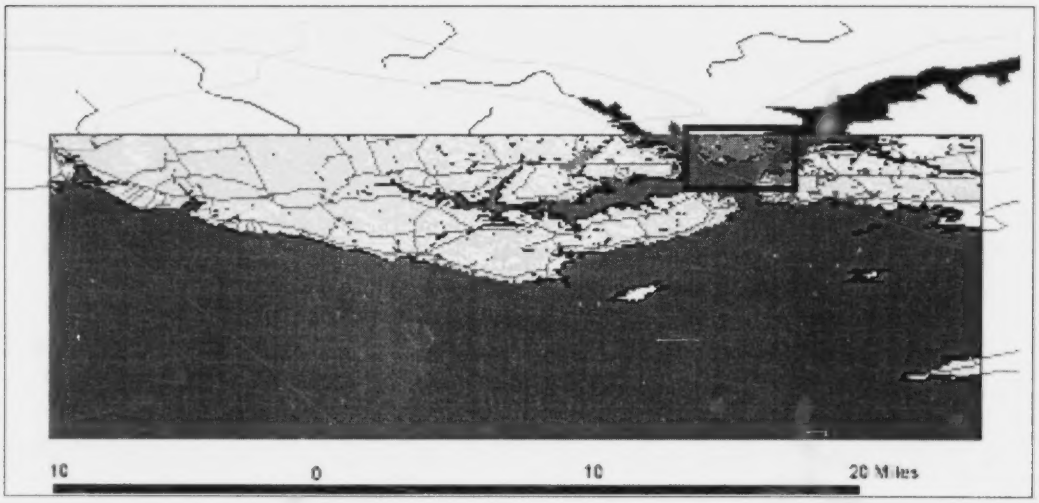
Le présent rapport comprend :

- les résultats des séquences d'utilisation du modèle de dommages provoqués par l'onde de tempête et les vents en fonction de diverses conditions de tempêtes;
- des considérations générales de gestion des urgences élaborées suite à l'étude.

1.3 Description de la région étudiée

La côte de l'Î.P.É. est fortement indentée, résultat d'une élévation relative du niveau de la mer à long terme qui occasionne l'inondation des vallées fluviales pour former des estuaires allongés. Charlottetown (figure 1) est situé dans un port protégé formé par la confluence de deux de ces vallées inondées. En se basant sur une nouvelle analyse des données de mesure des marées depuis 1911, le taux moyen d'élévation relative du niveau de la mer à Charlottetown au cours du siècle présent est de 3,2 mm par année, taux passablement plus élevé que l'estimation de 2 mm par année durant les 2000 ans qui ont précédé. Les données géologiques supposent également un retrait à long terme des côtes à des taux supérieurs à 0,5 m par année (Forbes et al., 2001). Cette condition, ajoutée à l'augmentation du nombre et de l'intensité des tempêtes découlant du changement climatique, rend Charlottetown de plus en plus vulnérable à l'onde de tempête et aux inondations.

Figure 1 Zone d'étude (illustrée dans l'encadré)



1.4 Définitions

Les définitions suivantes s'appliquent au présent rapport :

Estimation déterministique des dommages – le niveau moyen des dommages (léger, modéré ou important) aux divers types de structures selon les vitesses des vents prévus durant une tempête.

Dommages légers – dommages mineurs infligés à des éléments comme les contre-portes, les volets et les toitures (bardeaux manquants), mais dont l'intégrité de la structure n'est pas touchée.

Dommages modérés – dommages à la toiture et à l'intégrité de la structure qui rendent le bâtiment inhabitable tant que des réparations ne sont pas faites.

Mesures de précaution – mesures prises avant une urgence afin de minimiser l'impact d'un événement sur la population, les opérations essentielles ou les ressources vitales. En tant que principe directeur, les mesures hâtives de précaution devraient être relativement peu dispendieuses et non perturbatrices. Les mesures de précaution deviennent habituellement plus coûteuses et perturbatrices au fur et à mesure que la menace se développe. Des exemples de mesures hâtives de précaution comprennent la fermeture des installations publiques (par exemple, les parcs), la notification et le rappel sélectif du personnel essentiel et l'émission d'avis de sécurité. Des exemples de mesures tardives de précaution comprennent l'évacuation sélective (par exemple, des installations de soins spéciaux) et la relocalisation des ressources essentielles (par exemple, le repositionnement de l'équipement de lutte contre l'incendie) et le repositionnement au besoin des fonctions vitales (par exemple, l'ouverture des centres d'opérations d'urgence de remplacement). Règle générale, plus un segment de population est vulnérable ou plus l'installation est vitale, plus hâtivement les mesures de précaution sont mises en œuvre.

Estimation probabiliste des dommages – la probabilité d'un niveau particulier des dommages (léger, modéré ou important) aux divers types de structures selon les vitesses des vents prévus.

Mesures de protection – les mesures prises lorsqu'une urgence est imminente ou pendant une urgence afin de protéger la communauté des effets directs de l'événement. Les exemples comprennent l'évacuation des foules, l'hébergement (ordre de demeurer à l'intérieur) et la mise en œuvre des protocoles médicaux d'intervention d'urgence.

Dommages importants – dommages qui compromettent totalement l'intégrité de la structure et qui laissent le bâtiment inhabitable de façon permanente.

1.5 Appui au rapport

À partir des constatations du présent rapport, un guide de gestion des urgences comprenant des mesures de précaution, de protection et d'intervention en cas de tempêtes hivernales, de tempêtes tropicales et d'ouragans touchant la région de Charlottetown a été produit comme document autonome (document CM 001075 A de SAIC Canada en date du 28 mars 2002).

2.0 Le modèle des dommages causés par une tempête

2.1 Introduction

La présente section décrit la méthode de calibration de la TOEC et comment les résultats de la modélisation de la TOEC ont été validés pour prédire les dommages de l'inondation provoquée par l'onde dans la région de Charlottetown. Une description de la TOEC est également fournie. Le modèle de prévision des dommages causés par le vent est basé sur la vitesse du vent et la pression dynamique exercées sur diverses structures. Les estimations des dommages du vent de la TOEC ne peuvent être comparées aux travaux antérieurs puisqu'il n'y a pas de données ou de modèles connus des dommages du vent dans cette région. Cependant, la précision du modèle des dommages du vent de la TOEC a été reconnue par la Federal Emergency Management Agency

(FEMA) des États-Unis. La TOEC a été utilisée avec succès par la FEMA pour fournir des estimations efficaces des dommages du vent depuis le début de la saison des ouragans de 1993.

2.2 Trousse d'outils d'évaluation de conséquences

La TOEC évalue les conséquences des dangers technologiques et naturels sur la population, les ressources et les infrastructures. Elle effectue également des enquêtes spatiales ainsi que d'autres fonctions relatives aux mesures requises pour l'atténuation de ces conséquences. Les dangers comptabilisés dans la TOEC s'étendent des éléments naturels comme les ouragans et les tremblements de terre, aux urgences technologiques comme les accidents industriels (par exemple, les déversements de produits chimiques et de déchets nucléaires) et aux actes terroristes (par exemple, les armes de destruction massive). Cette étude ne porte que sur les effets des ouragans et des tempêtes hivernales touchant Charlottetown à l'Île-du-Prince-Édouard. Le modèle d'ouragan de la TOEC trace la trajectoire de la tempête et les régions qui seront probablement touchées par les dommages du vent dans les zones entourant la trajectoire de l'ouragan et prédit la possibilité d'une inondation causée par l'onde. La TOEC utilise les prévisions et les avertissements du Centre canadien de prévention d'ouragan d'Environnement Canada pour élaborer des estimations presque en temps réel des dommages. De plus, le programme peut servir à rechercher et à importer directement dans la TOEC l'information sur les marées locales à partir de sources Internet. Pour obtenir une description complète de la TOEC et de ses capacités, consulter le site Web de la TOEC à http://cats.saic.com/.

L'application TOEC fonctionne à l'intérieur d'une application complète du Geographic Information System (ArcView™). L'environnement ArcView™ permet aux outils d'analyse de la TOEC de combiner les couches multiples des bases de données relatives aux infrastructures, aux ressources et aux installations particulières à l'utilisateur, géoréférencées et attribuées à l'intérieur du contexte spatial des images à vecteurs géoréférencés, matriciels et photographiques.

Dans le cadre de ce projet, les données relatives à la marée maximale (2,6 m), minimale (0,6 m) et à une marée médiane (1,8 m) tirées de l'Annuaire canadien des marée pour Charlottetown ont été entrées pour plusieurs séries d'analyses de la TOEC. Les analyses réalisées à chaque hauteur de marée l'ont été avec les niveaux d'onde attendus pour les tempêtes tropicales, les ouragans de catégorie 1, 2 et 3 et les tempêtes hivernales violentes, lesquels peuvent tous avoir des répercussions sur Charlottetown.

2.3 Données cartographiques

Le Centre for Geographic Sciences (COGS) et la Commission géologique du Canada (CGC) ont créé un modèle d'évaluation numérique à haute-résolution et une cartographie de la morphologie côtière de la région étudiée. Ils ont servi à élaborer des cartes de danger d'inondation pour des événements de probabilité particulière découlant d'un changement climatique. Intégré à ce projet, le Service hydrographique du Canada (SHC) a complété des enquêtes par système de positionnement global numérique pour établir une donnée commune sur les niveaux d'eau dans la partie sud du golfe du Saint-Laurent. La TOEC s'est servie de cette information et des bases de données durant cette étude.

Le modèle de la TOEC de Charlottetown utilise les données cartographiques suivantes :

- Les cartes de Ressources naturelles Canada (numéros de feuilles 0111/03 de Charlottetown, 0111/02 de Montague et 0111/06 de North Rustico);
- L'information topographique du plancher océanique du détroit de Northumberland de Nautical Data International, Inc.
- Les données de détection et télémétrie par la lumière[1] (LIDAR) fournies par le projet FACC.

2.4 Validation du modèle d'onde de tempête

Le modèle de la TOEC a été validé selon les cartes d'inondation produites par le projet A041, Fonds d'action pour le changement climatique (FACC), portant sur le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer et leurs répercussions sur les côtes de l'Île-du-Prince-Édouard[2].

Les modèles de la TOEC ont été calculés en se fondant sur les mêmes conditions que les paramètres de modélisation du FACC. Dans le projet du FACC ainsi que dans la présente étude, les niveaux d'eau découlant des tempêtes ou de l'onde ont été définis en tant que hauteur d'une vague (hauteur combinée de la marée et de l'onde) au-dessus du niveau de référence. Le niveau de référence est défini en tant que référence verticale qui équivaut approximativement au niveau d'eau à la plus bass marée astronomique (c'est-à-dire la plus basse mer, grande marée). Pour la région de Charlottetown, le niveau de référence est 1,6 mètres sous le référentiel géodésique (CGVD28). Le modèle de la TOEC a été validé en deux phases :

1. L'étalonnage du modèle;
2. La comparaison de la TOEC par rapport aux modèles du FACC.

2.4.1 Étalonnage du modèle

Le modèle de la TOEC a été étalonné au niveau de référence en modélisant une marée haute hivernale moyenne (2,6 m)[3] et une onde nulle. Le but était de s'assurer que le résultat de cette séquence de modélisation avec une marée ou une onde normale n'indiquait aucun changement des niveaux d'eau et aucun effet ou changement sur le littoral. Après avoir modifié le logiciel pour configurer les données de cartographie numérique selon le niveau de référence, les résultats de la séquence de modélisation de base correspondaient au niveau de référence. Cet essai a été répété à trois reprises et les résultats obtenus étaient constants et adéquats. Voir la figure 2.

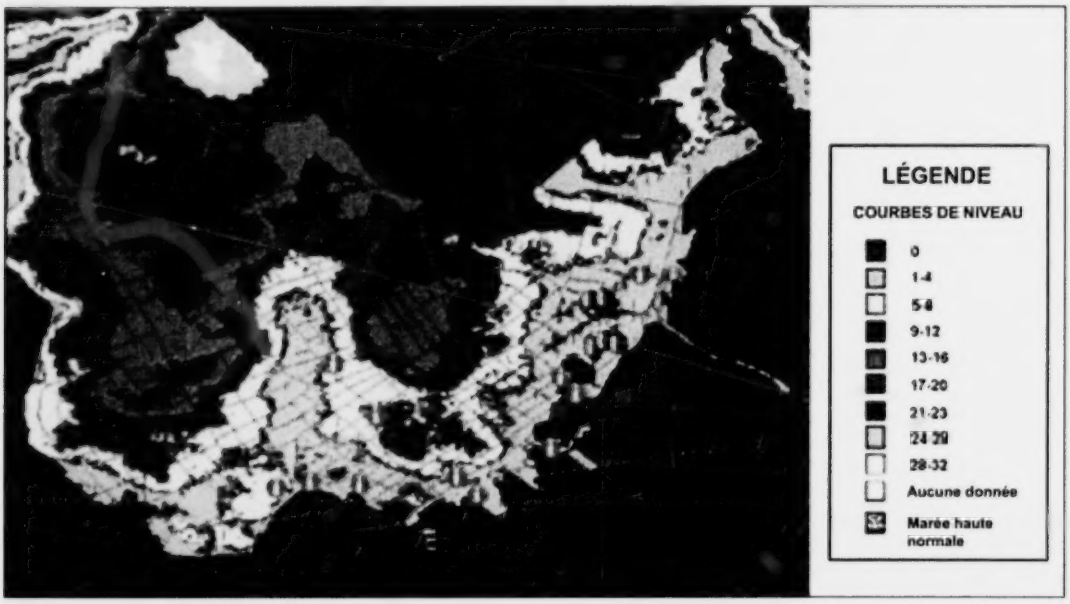
---

1 Également connu sous le nom de Airborne Laser Topographic Mapping (ALTM)

2 Webster, T., Forbes, D.L., Dickie, S., Covill, R. A. et Parks, G., 2001. Airborne imaging, digital elevation models and flooding maps, dans Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island (Shaw, R.W. et Forbes, D.L., éditeurs). Commission géologique du Canada, Open File [n° à venir], document d'appui 4, 35 p.

[3] Ministère des Pêches et Océan Canada, Tables des marées et courant du Canada 2002, Golfe du Saint-Laurent, Volume 2, Ottawa, 2002.

Figure 2 Modèle de la TOEC avec marée haute hivernale moyenne et onde nulle



2.4.2 Comparaison de la TOEC avec les modèles du FACC

Le modèle a été validé par une comparaison détaillée des séquences de modélisation de tempête de la TOEC par rapport aux résultats des exercices de modélisation du projet du FACC. Dans le projet du FACC, les trois niveaux d'eau suivants ont été modélisés à l'aide du système GRASS (logiciel public GIS) :

1. 4,23 mètres au-dessus du niveau de référence;
2. 4,70 m au-dessus du niveau de référence;
3. 4,93 m au-dessus du niveau de référence.

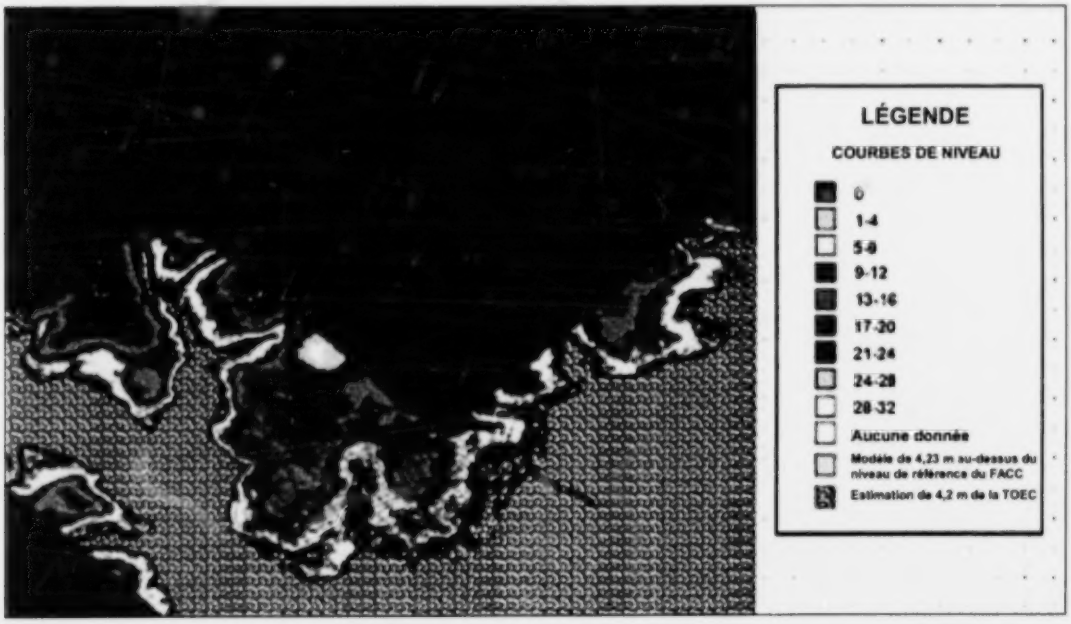
Les scénarios suivants de la TOEC ont été effectués par incréments de 0,2 m pour correspondre à la résolution topographique des tableaux électroniques. Il est convenu qu'une résolution de 20 cm est appropriée aux fins de planification des urgences.

PREMIER SCÉNARIO

Dans ce scénario, les hauteurs de vagues de 4,2 et 4,4 m au-dessus du niveau de référence ont été modélisées par la TOEC et comparées aux constatations du FACC. Le modèle de la TOEC s'appuie sur un événement réel qui a eu lieu le 21 janvier 2000 lorsque l'onde de la tempête hivernale a provoqué une hauteur de vague totale de 4,3 m au-dessus du niveau de référence et a inondé des parties riveraines de Charlottetown et des parties du centre-ville. Le modèle de la TOEC était conservateur et a indiqué plus d'inondation que ce qui s'est réellement passé. L'ingénieur de la ville de Charlottetown a identifié les zones du périmètre d'inondation du

modèle du FACC qui demeure en réalité au-dessus de la marque de marrée haute. Cela était prévu puisque la zone possède un gradient très peu profond et une variation du niveau d'eau d'à peine quelques centimètres en plus ou en moins entraînerait une grande différence sur le sol. Les estimations d'inondation du modèle de la TOEC sont affichées de manière tout aussi conservatrice. Les résultats de la TOEC étaient constants avec ceux du modèle du FACC tels qu'illustrés à la figure 3.

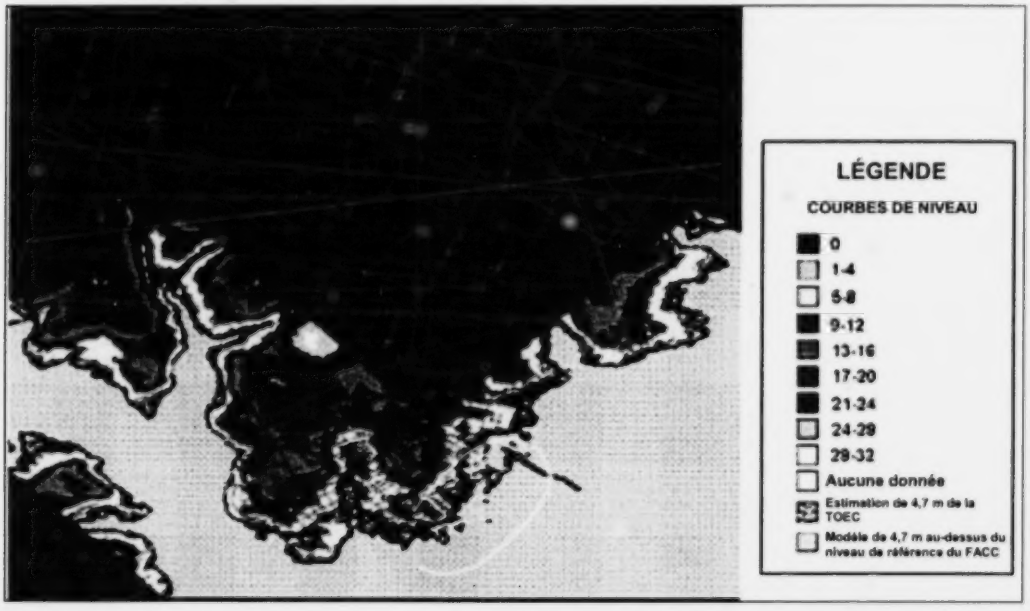
Figure 3 Comparaison avec le modèle de 4,23 m au-dessus du niveau de référence du FACC



DEUXIÈME SCÉNARIO

Le deuxième scénario du FACC de 4,70 m au-dessus du niveau de référence est fondé sur un « événement mineur », avec une probabilité plus élevée, après la montée prévue du niveau de la mer pendant 100 ans[4]. Les mêmes procédures ont été suivies dans ce scénario. Le modèle de la TOEC a été effectué à 4,80 m au-dessus du niveau de référence. Le résultat est illustré à la figure 4.

Figure 4 Comparaison avec le modèle de 4,7 m au-dessus du niveau de référence du FACC

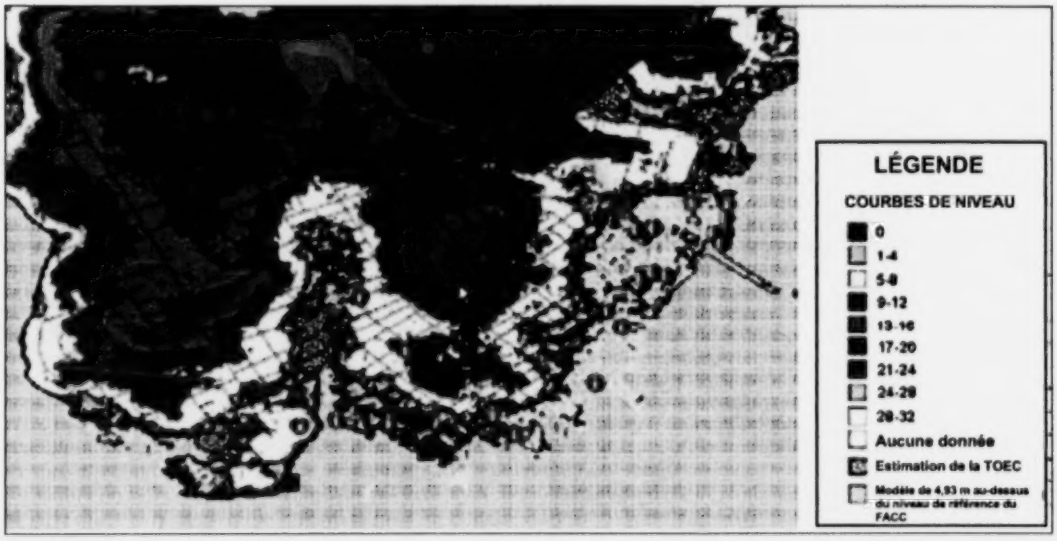


TROISIÈME SCÉNARIO

Le dernier scénario de 4,93 m au-dessus du niveau de référence est fondé sur l'onde de janvier 2000 après 100 ans de montée prévue du niveau de la mer. La séquence de la TOEC, effectuée à 4,8 m au-dessus du niveau de référence, est illustrée à titre de comparaison avec le modèle du FACC à la figure 5.

[4] Les hauteurs de marée par rapport à celles de l'onde ne sont pas étudiées dans le modèle du FACC; par contre, la hauteur de vague est donnée. Le scénario de la TOEC a été effectuée en utilisant une combinaison de hauteurs de marée et d'onde pour afficher des inondations de 4,6 et 4,8 m au-dessus du niveau de référence.

Figure 5 Comparaison avec le modèle du FACC de 4,93 m au-dessus du niveau de référence



RÉSULTATS

Les résultats des séquences de modélisation, tels qu'illustrées dans les figures précédentes, correspondent à ceux du modèle du FACC tout en permettant d'illustrer la résolution de contour de 20 cm utilisée par la TOEC.

3.0 Infrastructure de Charlottetown

La ville de Charlottetown compte environ 8450 bâtiments répartis entre les types de bâtiments suivants[5] :

- Résidences unifamiliales – charpente en bois 7600
- Bâtiments commerciaux / à bureaux / appartements – brique/maçonnerie 650
- Maisons mobiles 200

Les bâtiments commerciaux comprennent :

- Les infrastructures aéroportuaires (radar, terminal et tour)
- L'hôpital
- Les maisons mobiles
- Les habitations multifamiliales

[5] L'ingénieur municipal a fourni les estimations sur le nombre et les types de propriétés de la ville de Charlottetown en s'appuyant sur le rôle d'évaluation.

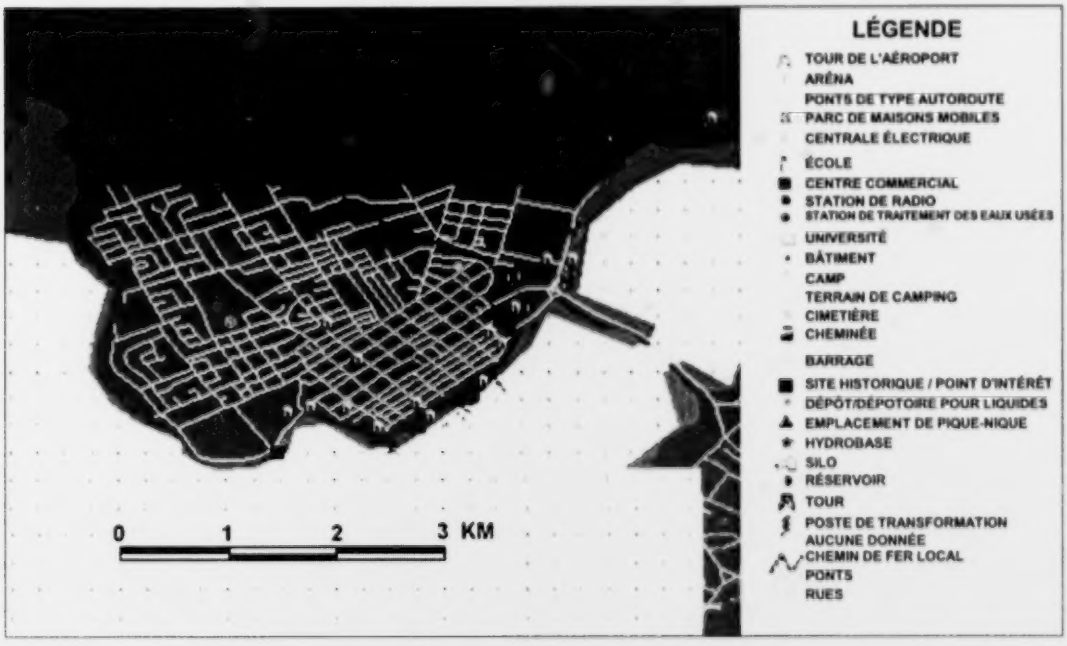
- Les maisons de repos
- Les installations pétrochimiques
- Les installations portuaires
- La centrale électrique
- Les écoles
- Les stations de traitement des eaux usées
- Les centres commerciaux
- Les stations de télévision et radio

De plus, les ressources en infrastructure de transport et de services publics suivants sont présentes dans la ville :

- La distribution de haute tension
- Les ponts de type autoroute
- Les pylônes radio
- La distribution électrique résidentielle

Les structures ou infrastructures énumérées ci-dessus sont indiquées à la figure 4.

Figure 6 Infrastructure de Charlottetown



4.0 Impacts de l'onde de tempête et du vent

4.1 Introduction

La présente section décrit en détails les résultats des séquences d'utilisation du modèle de dommages provoqués par l'onde de tempête et les vents dans la région de Charlottetown. Les résultats des prévisions de dommages causés par les vents et les inondations côtières sur l'infrastructure et les installations ont servi de point de départ à l'élaboration de mesures de précaution et de protection propres au site et à l'événement pluvio-hydrologique pour la région de Charlottetown.

4.2 Modélisation des conséquences de l'onde de tempête

Des tempêtes hivernales et tropicales ainsi que les ouragans de catégorie 1, 2 et 3 ont été modélisés afin d'évaluer les impacts de l'onde de tempête à partir de diverses conditions de tempête fondées sur les vagues prévues au-dessus du niveau de référence. Tous les scénarios de la TOEC ont été séquencés à l'aide des hauteurs de marée situées à l'intérieur de la plage normale pour Charlottetown (hauteurs au-dessus du niveau de référence). Les niveaux qui ont servi à chaque série de séquences étaient de 0,6 m (marée basse), 1,8 m (marée moyenne) et 2,6 m (marée haute).

4.2.1 Tempêtes tropicales ou ouragans

Une tempête tropicale ou un ouragan est défini comme un « cyclone tropical » qui prend naissance dans l'Atlantique Nord (c'est un « typhon» dans le Pacifique). Un cyclone tropical est un terme générique pour décrire un système de basse pression non frontal à échelle synoptique au-dessus des eaux tropicales ou subtropicales accompagné d'une convection organisée (c'est-à-dire, une activité orageuse) et d'une circulation cyclonique définie des vents de surface. Un cyclone tropical est classé comme une tempête tropicale lorsque les vents de surface continus maximum dépassent 34 nœuds (17 m/s). Si les vents de surface continus maximum dépassent 64 nœuds (33 m/s), les tempêtes s'appellent ouragans. Les ouragans sont ensuite classés par leur échelle de catastrophe potentielle qui les répartit en cinq catégories. Voir l'annexe A pour connaître l'échelle d'ouragan Saffir-Simpson. Aux fins de la présente étude, des ouragans de catégorie 1, 2 et 3 ont été modélisés en utilisant diverses ondes et hauteurs de marée. Dans chaque scénario, l'onde la plus élevée prévue de chaque ouragan et les marées les plus hautes prévues ont été utilisées[6].

TEMPÊTE TROPICALE

En ce qui a trait à la tempête tropicale, les scénarios comprenant une hauteur d'onde prévue de 1,2 m ont été modélisés à marée basse, moyenne et haute. La hauteur d'onde de 1,2 m est une hauteur conservatrice fondée sur l'onde prévue la plus basse accompagnant un ouragan de catégorie 1. Les résultats sont illustrés aux figures 7, 8 et 9.

---

[6] Lowe's Storm 99 Hurricane Central: FAQ Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones, Version 2.6, 13 janvier 1998.

Figure 7 Résultats de la TOEC – Marée de 0,6 m avec onde de 1,2 m

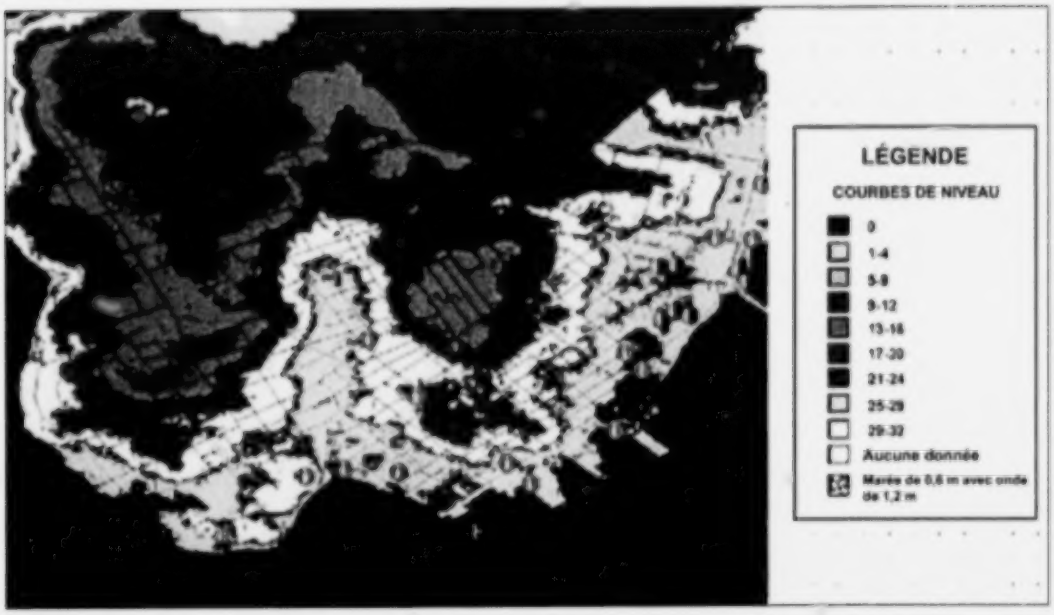


Figure 8 Résultats de la TOEC – Marée de 1,8 m avec onde de 1,2 m

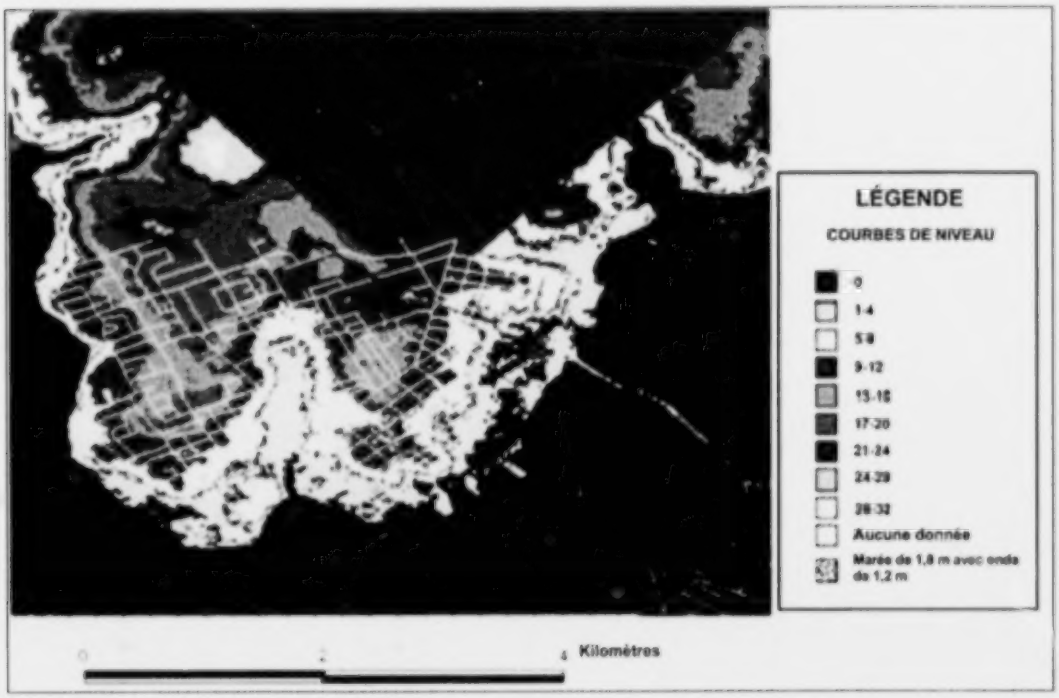
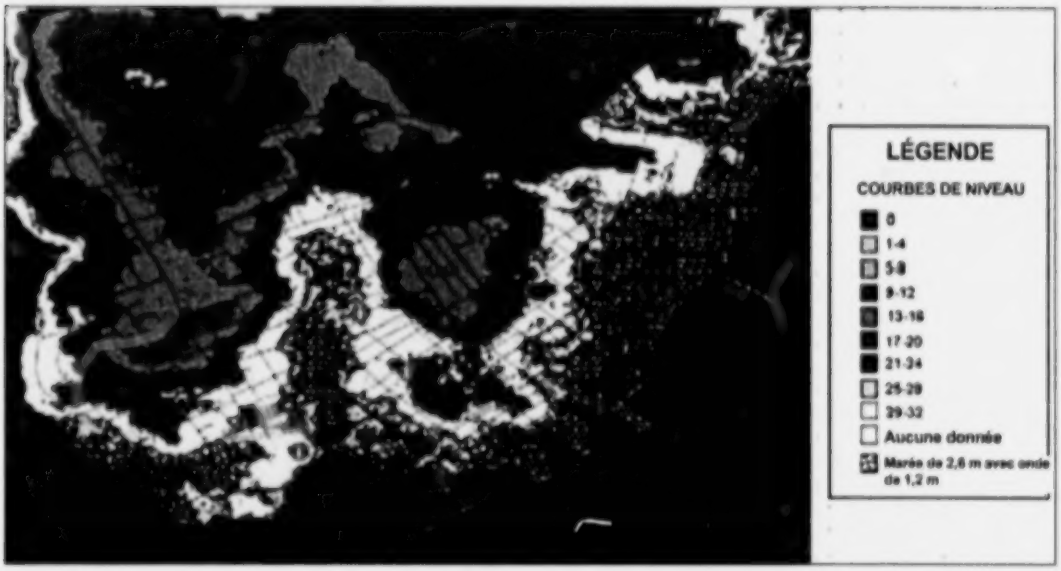


Figure 9 Résultats de la TOEC – Marée de 2,6 m avec onde de 1,2 m



OURAGANS DE CATÉGORIE 1 ET 2

Des scénarios d'ouragans de catégorie 1 et 2 comprenant une hauteur d'onde prévue de 2,2 m (7 pieds) ont été modélisés à marée basse, moyenne et haute. La hauteur d'onde de 2,2 m est fondée sur l'onde prévue la plus élevée accompagnant ces ouragans. Les résultats sont illustrés aux figures 10, 11 et 12.

Figure 10 Résultats de la TOEC – Marée de 0,6 m avec onde de 2,2 m

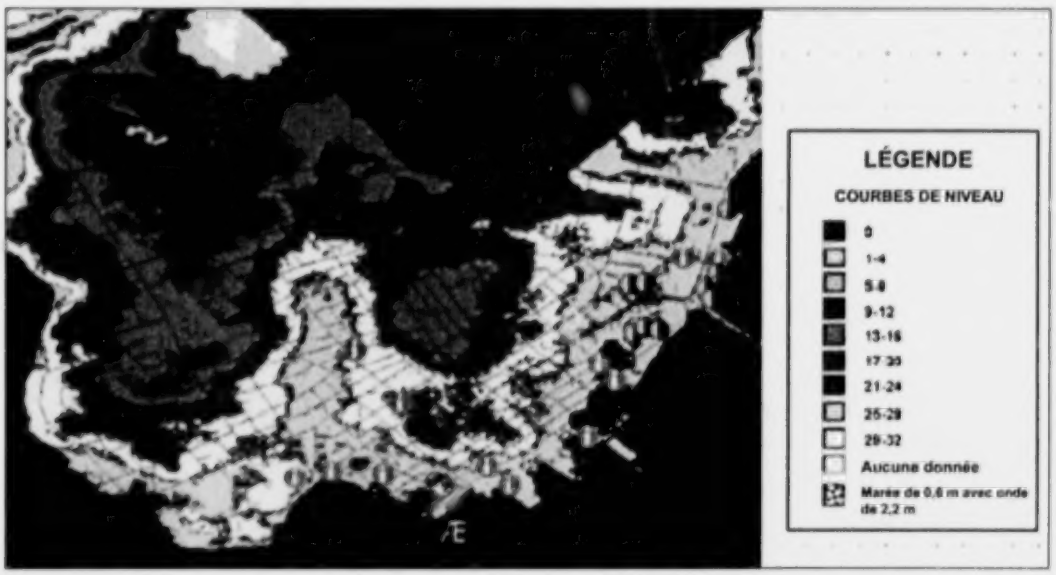


Figure 11 Résultats de la TOEC – Marée de 1,8 m avec onde de 2,2 m

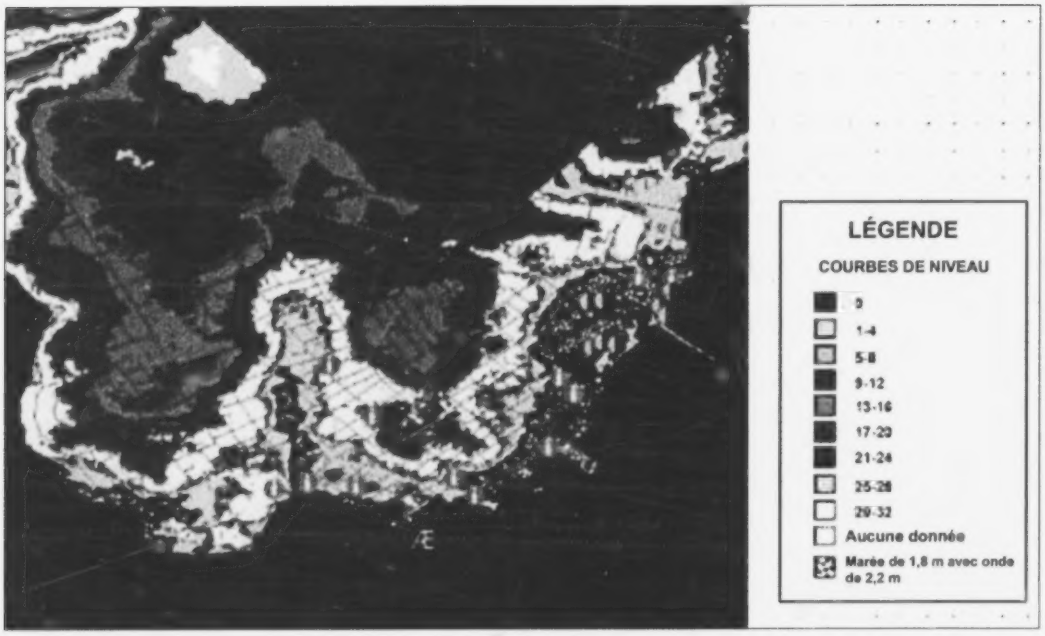
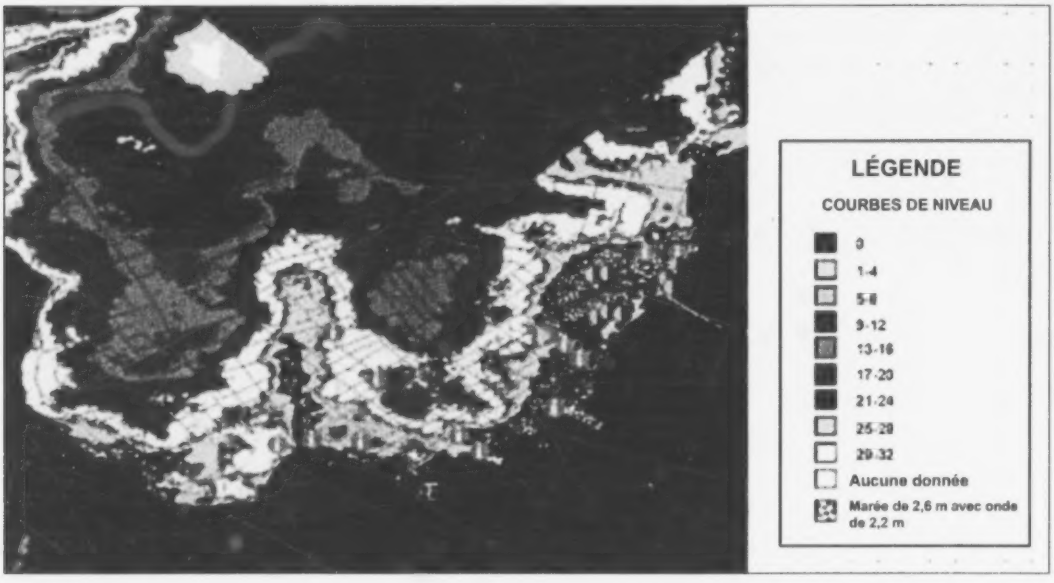


Figure 12 Résultats de la TOEC – Marée de 2,6 m avec onde de 2,2 m



OURAGANS DE CATÉGORIE 3

En ce qui a trait à l'ouragan de catégorie 3, les scénarios comprenant une hauteur d'onde prévue de 2,8 m ont été modélisés à marée basse, moyenne et haute. La hauteur d'onde de 2,8 m est fondée sur l'onde prévue la plus élevée accompagnant un ouragan de catégorie 3. Les résultats sont illustrés aux figures 13, 14 et 15.

Figure 13 Résultats de la TOEC – Marée de 0,6 m avec onde de 2,8 m

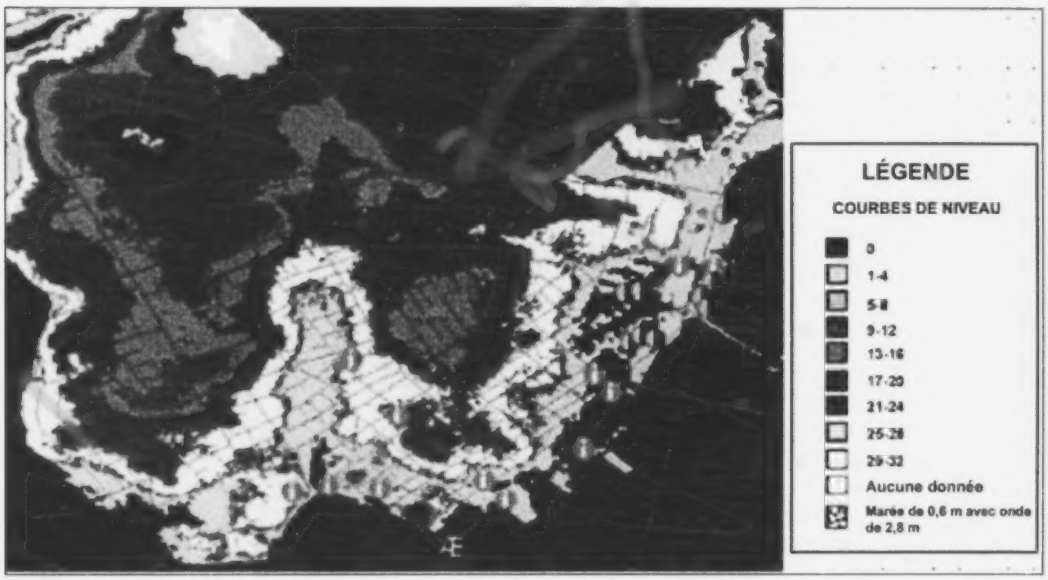


Figure 14 Résultats de la TOEC – Marée de 1,8 m avec onde de 2,8 m

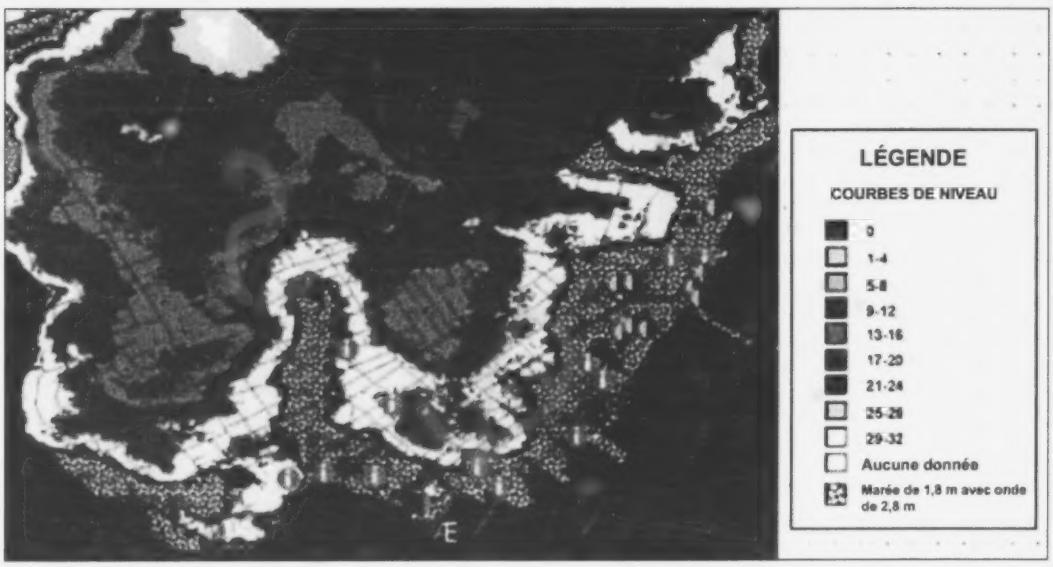
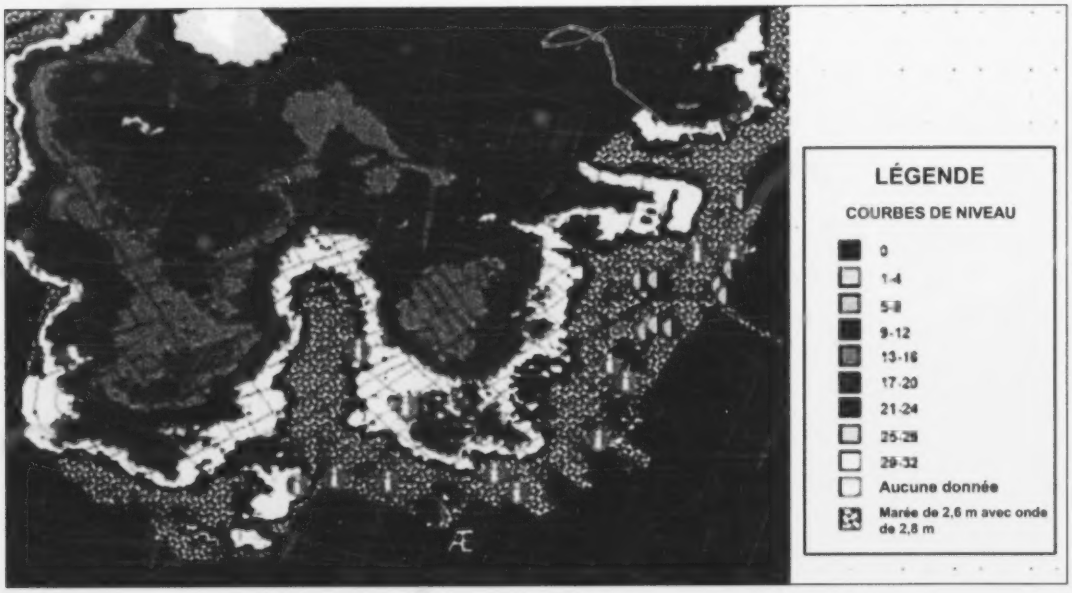


Figure 15 Résultats de la TOEC – Marée de 2,6 m avec onde de 2,8 m



4.2.2 Tempêtes hivernales

Une tempête hivernale se définit comme un événement où deux conditions ou plus (par exemple, le vent et la neige, ou de la pluie verglaçante suivie de neige abondante) surviennent simultanément pour créer des conditions exceptionnelles. Pour identifier des scénarios de tempêtes hivernales qui pourraient avoir des répercussions sur Charlottetown, les modèles de la TOEC ont été séquencés en utilisant divers niveaux d'onde à différentes hauteurs de marée en parallèle afin de déterminer quelles combinaisons de niveaux d'onde et de hauteurs de marée pourraient causer une inondation. Pour les séquences d'utilisation du modèle, la hauteur de la marée a été fixée au plus haut niveau prévu au dessus du niveau de référence pour cette région (la marée haute de vive-eau la plus élevée) et l'onde augmentée par incréments de 0,2 m en commençant à 0,6 m (marée prévue la plus basse pour cette région) jusqu'à ce que le modèle ait prévu un impact sur la ville et prenant fin avec 2,6 m (la marée prévue la plus élevée). Les représentations des séquences d'utilisation du modèle sont illustrées aux figures 16, 17 et 18.

Figure 16 Résultats de la TOEC – Marée de 0,6 m avec onde de 1,0 m

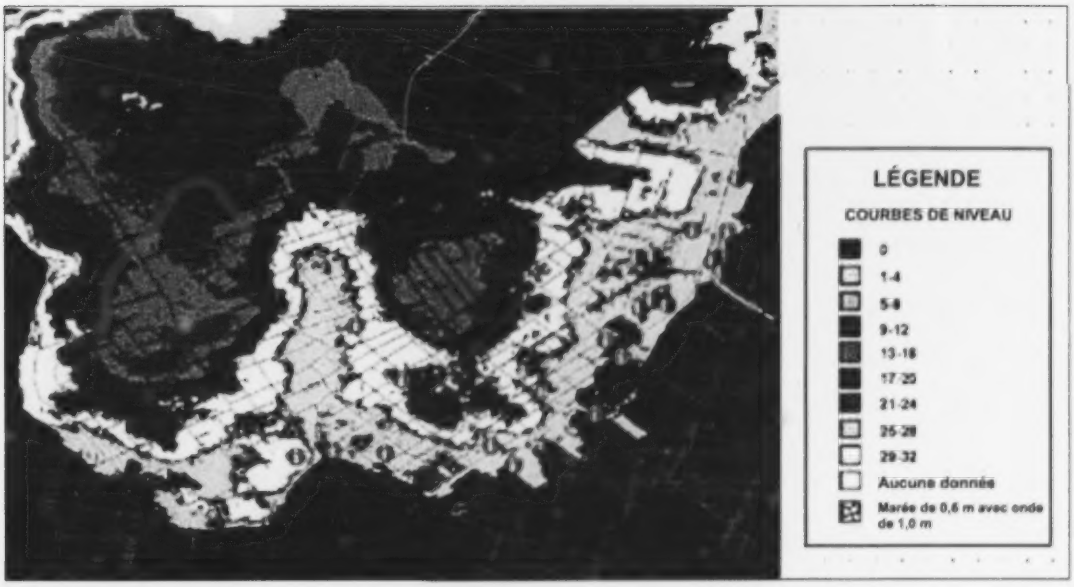


Figure 17 Résultats de la TOEC – Marée de 1,8 m avec onde de 1,0 m

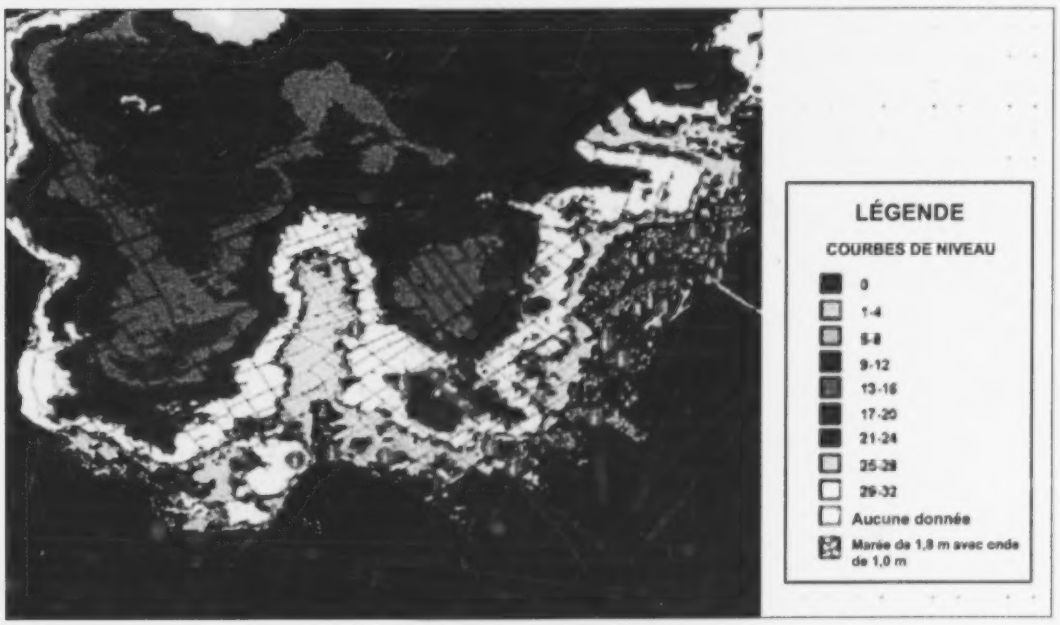
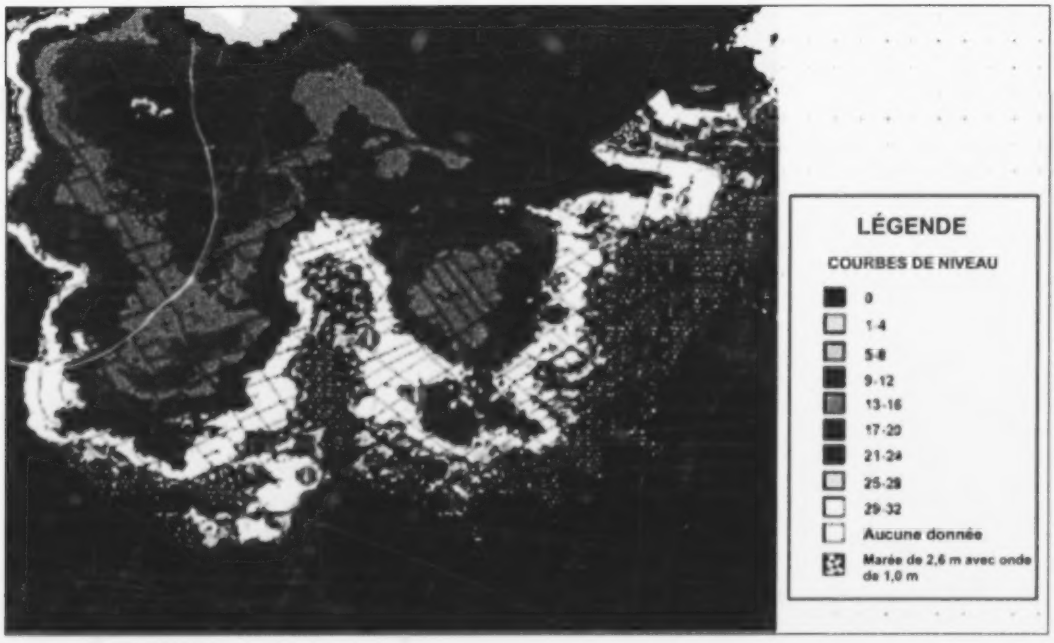


Figure 18 Résultats de la TOEC – Marée de 2,6 m avec onde de 1,0 m



4.2.3 Résultats de la TOEC

Tel que prévu, chaque combinaison progressivement plus élevée de marée et d'onde de tempête a résulté en une estimation par la TOEC d'un plus grand risque d'inondation pour Charlottetown. Ainsi, les risques d'endommagement de l'infrastructure et les effets sur la population dans les zones inondées sont plus grands. En fonction de ces résultats, des mesures de précaution et de protection ont été élaborées en tant qu'outil pour aider les gestionnaires des urgences à se préparer à ces éventualités.

4.2.4 Mesures de précaution et de protection

Les résultats indiquent que toutes les tempêtes et tous les ouragans dans ou approchant le golfe du Saint-Laurent devraient être suivies et, lorsqu'une onde de 0,8 à 1 m de hauteur à marée basse est prévue, des mesures de précaution devraient être prises en considération. Lorsqu'une onde de 1 m ou plus à marée montante ou à marée haute est prévue, des mesures de protection devraient être prises en considération. Le tableau suivant a été élaboré en fonction de cette information :

Tableau 1 Conditions de tempête et mesures recommandées

Hauteur de la marée	Niveau de l'onde	Mesure recommandée
0,6 m ou plus	0,5 m	Surveiller
0,6 m ou plus	0,8 à 1,0 m	Suivre et mettre à jour à toutes les heures Prendre en considération des mesures de précaution
0,6 m ou plus	>1,0 m	Suivre et mettre à jour à toutes les heures Prendre en considération des mesures de protection

4.3 Modélisation des conséquences des vents

Les scénarios de modèles d'ouragan ont été fondés sur des tempêtes réelles accompagnées de vents et de pressions atmosphériques près des niveaux maximums de chaque catégorie d'ouragan. Cependant, la trajectoire a été modifiée afin que la tempête passe directement au-dessus de la ville de Charlottetown. Les tempêtes ont également été sélectionnées pour illustrer les effets de conditions de vents et de gradients de pression variables. Chaque scénario comprend des explications plus détaillées. Les scénarios et les résultats de chaque catégorie de tempête sont décrits ci-dessous. Dans tous les cas, les estimations des dommages illustrées aux figures 19 à 21 ne touchent que les résidences unifamiliales. Cependant, le tableau 2 résume les estimations des dommages pour un échantillon représentatif de structures et de catégories de tempêtes.

Les données d'ouragan recueillies à partir des prévisions et des avis de sécurité comprennent les positions actuelles et prévues de la tempête, la vitesse maximale des vents et la répartition spatiale des vents autour du centre de la tempête. Dans chaque quadrant de la tempête ainsi qu'aux positions actuelles et prévues, des profils en coupe radiale de la pression dynamique et de la vitesse du vent sont analysés par la TOEC. La TOEC génère ensuite des bandes de dommages à code de couleur qui indiquent les probabilités calculées des dommages à la structure. Le modèle établit une corrélation entre la vélocité des vents continus de l'ouragan et la pression dynamique pour prévoir les dommages aux divers types de structures. En s'appuyant sur l'étude de sites de SAIC Canada, les diverses structures trouvées dans la ville de Charlottetown (voir la section 3 pour connaître les détails) ont été ajoutées au modèle.

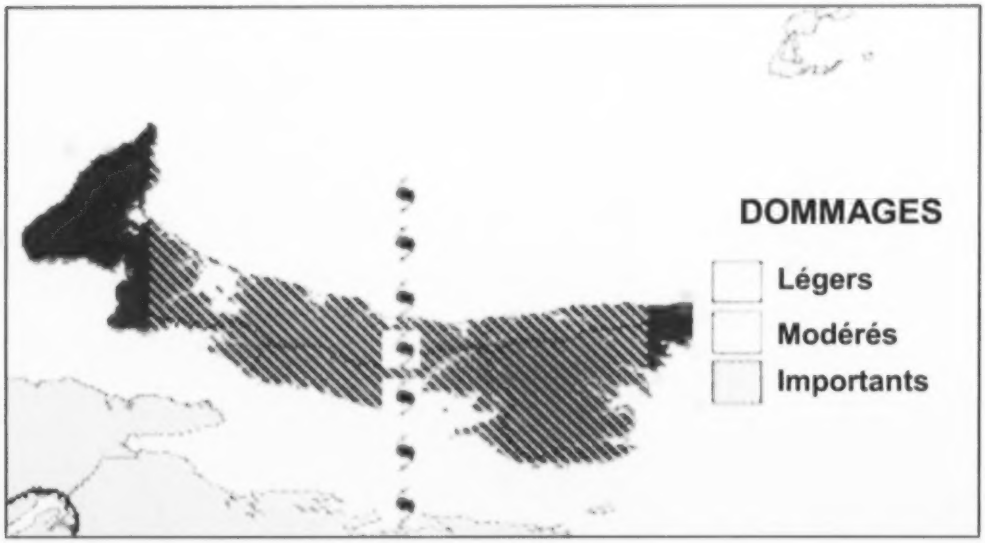
Des scénarios de tempêtes hivernales et tropicales ainsi que des ouragans de catégorie 1, 2 et 3 ont été modélisés pour identifier les tempêtes de la région qui causent des dommages à Charlottetown. Chaque type et catégorie de trajectoire de tempête ont été séquencés directement au-dessus du centre de la ville, du sud au nord en ce qui a trait aux ouragans et tempêtes tropicales, de l'ouest à l'est en ce qui a trait aux tempêtes hivernales (les trajectoires dominantes selon les événements). Les séquences subséquentes ont été faites de chaque côté de la trajectoire originale jusqu'à ce qu'aucun dommage ne soit prévu dans la ville. Cette procédure à servi à identifier les types ou la catégorie et la trajectoire des événements météorologiques qui

pourraient avoir un impact sur Charlottetown. Pour ce qui est des tempêtes tropicales et des tempêtes hivernales, la TOEC a servi à identifier le niveau minimal de vélocité des vents continus et de pression dynamique qui pourrait causer des dommages aux résidences.

4.3.1 Ouragan de catégorie 1

Ce scénario a été basé sur l'ouragan Emily qui est survenu le 31 août 1993. Des vents de 150 km/h et une pression de 97,0 kilopascals (970 mb [millibars]) ont été modélisés pour ce scénario. Emily est un exemple « d'ouragan typique » avec un grand œil (56 km) et des vents continus au-dessus d'une zone relativement petite. Les résultats des séquences sont indiqués à la figure 19.

Figure 19 Résultats de la TOEC – Ouragan de catégorie 1 passant directement au-dessus de Charlottetown

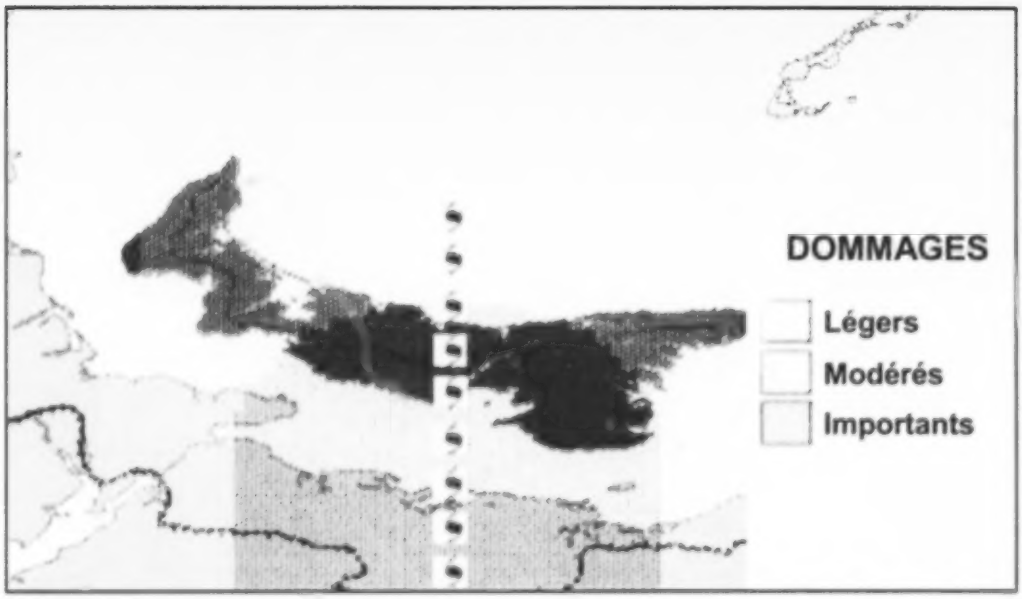


Tel qu'illustré ci-dessus, le modèle a estimé des dommages importants aux maisons mobiles et aux maisons unifamiliales dans la région de Charlottetown. Les séquences subséquentes ont estimé des dommages de légers à importants à la plupart des autres structures.

4.3.2 Ouragan de catégorie 2

Ce scénario a été basé sur l'ouragan Gert qui est survenu le 13 septembre 1997. Des vents de 170 km/h et une pression de 94,9 kilopascals (949 mb [millibars]) ont été modélisés pour ce scénario. Gert est un bon exemple de tempête avec un grand œil (56 km) et des vents forts continus au-dessus d'une large zone pouvant créer des dommages généralisés. Les résultats de la séquence sont indiqués à la figure 20.

Figure 20 Résultat de la TOEC – Ouragan de catégorie 2 passant directement au-dessus de Charlottetown

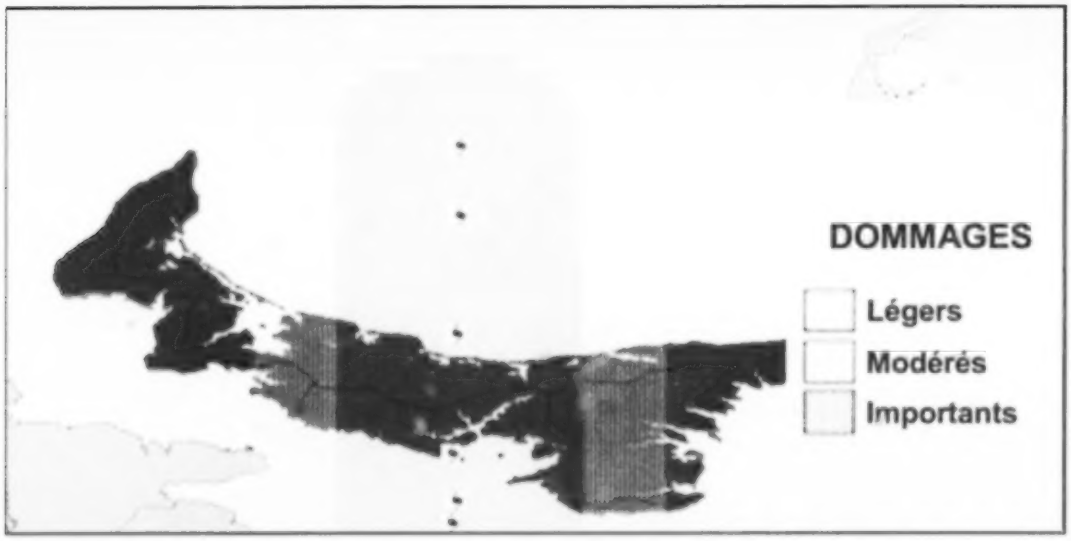


Tel qu'illustré ci-dessus, le modèle a estimé des dommages importants aux maisons unifamiliales dans la région de Charlottetown. Les séquences subséquentes ont estimé des dommages de légers à importants à la plupart des structures.

4.3.3 Ouragan de catégorie 3

Ce scénario a été basé sur l'ouragan Andrew qui est survenu le 24 août 1992. Des vents continus de 200 km/h et une pression de 93,7 kilopascals (937 mb [millibars]) ont été modélisés pour ce scénario. Andrew est un bon exemple de tempête accompagnée de vents forts et de gradients de pressions rapprochés, lesquels sont attribuables aux vents plus forts et à un petit œil (37 km). À partir de cette séquence, les estimations probabilistes et déterministiques des dommages indiquent la vraisemblance de dommages importants dans une zone plus concentrée. Les résultats de la séquence sont indiqués à la figure 21.

Figure 21 Résultat de la TOEC – Ouragan de catégorie 3 passant directement au-dessus de Charlottetown

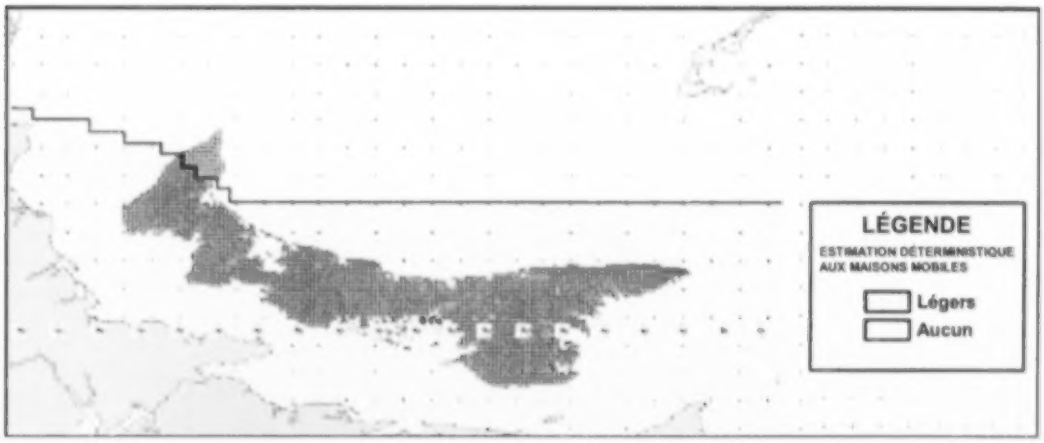


Tel qu'illustré ci-dessus, le modèle a estimé des dommages importants à la plupart des structures de Charlottetown et des environs. Il indique également le potentiel de dommages modérés à légers aux extrémités de la tempête.

4.3.4 Tempêtes tropicales et hivernales

Puisque les tempêtes tropicales et les tempêtes hivernales violentes comportent des vitesses du vent caractéristiques semblables, l'estimation des dommages est également semblable. Dans ce cas, il s'agit d'identifier les limites minimales des vents qui pourraient causer des dommages. Des séquences de modélisation initiales avec des combinaisons décroissantes de vent et de pression ont été effectuées jusqu'à ce qu'aucun dommage ne soit prévu. Les résultats initiaux indiquent des dommages légers aux maisons mobiles avec des vents pouvant atteindre 110 km/h (voir la figure 22) et des dommages de légers à modérés avec des vents de 110 à 150 km/h. Il estime également des dommages légers aux résidences unifamiliales lorsque les vents sont entre 110 et 150 km/h.

Figure 22 Résultat de la TOEC – Tempête hivernale dont la trajectoire passe directement au-dessus de Charlottetown



4.3.5 Résumé des dommages estimés causés par les vents

Le tableau suivant résume les dommages estimés de la TOEC causés par les vents pour un échantillon représentatif de structures selon chaque catégorie de tempête.

Tableau 2 Résumé des dommages estimés par la TOEC selon la catégorie de tempête

Structure	Ouragan de catégorie 1	Ouragan de catégorie 2	Ouragan de catégorie 3	Tempêtes hivernales ou tropicale
Infrastructures aéroportuaires	Aucun	Légers	De légers à modérés	De aucun à légers
Distribution de haute tension	Aucun	Aucun	De aucun à légers	Aucun
Ponts de type autoroute	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Hôpital	Aucun	De légers à modérés	De modérés à importants	Aucun
Maisons mobiles	De modérés à importants	Importants	Importants	De légers à modérés
Maisons de repos	Aucun	De modérés à importants	De modérés à importants	Aucun
Centrale électrique	Aucun	De aucun à légers	Légers	Aucun
Distribution électrique résidentielle	Aucun	De modérés à importants	De modérés à importants	De aucun à légers
Écoles	Aucun	Modérés	De modérés à importants	Aucun
Centres commerciaux	Aucun	De légers à importants	De modérés à importants	De aucun à légers
Résidences unifamiliales	Légers	Importants	Importants	De aucun à légers

NOTE : Dans certains cas, les dommages sont exprimés sous forme de plage (par exemple, les dommages aux centres commerciaux sont indiqués de légers à importants pour les ouragans de catégorie 2). Les résultats des séquences sont déterministiques pour des types de structures particulières et, dans certains cas, une variété de types de structrues figure en en-tête. Par exemple, les édifices publics comme les centres commerciaux ou les hôpitaux peuvent varier en taille et en type de construction.

4.3.6 Mesures de précaution et de protection

Les séquences de la TOEC ont confirmé que toutes les tempêtes qui ont un impact dans le golfe du Saint-Laurent et dans les autres provinces maritimes (N.-É., N.-B.) ont le potentiel de causer des dommages dans la région de Charlottetown. Toutes les tempêtes accompagnées de vents supérieurs à 100 km/h prévues qui passent à moins de 100 km de l'Île-du-Prince-Édouard doivent être surveillées. Lorsqu'un ouragan de quelque catégorie est prévu passer à moins de 200 km (basé sur les séquences de la TOEC, figures 19, 20, 21 et 22) de l'Î.-P.-É., des mesures de précaution ou de protection devraient être prises en considération conformément au tableau 3.

Tableau 3 Catégories de tempête et mesures recommandées

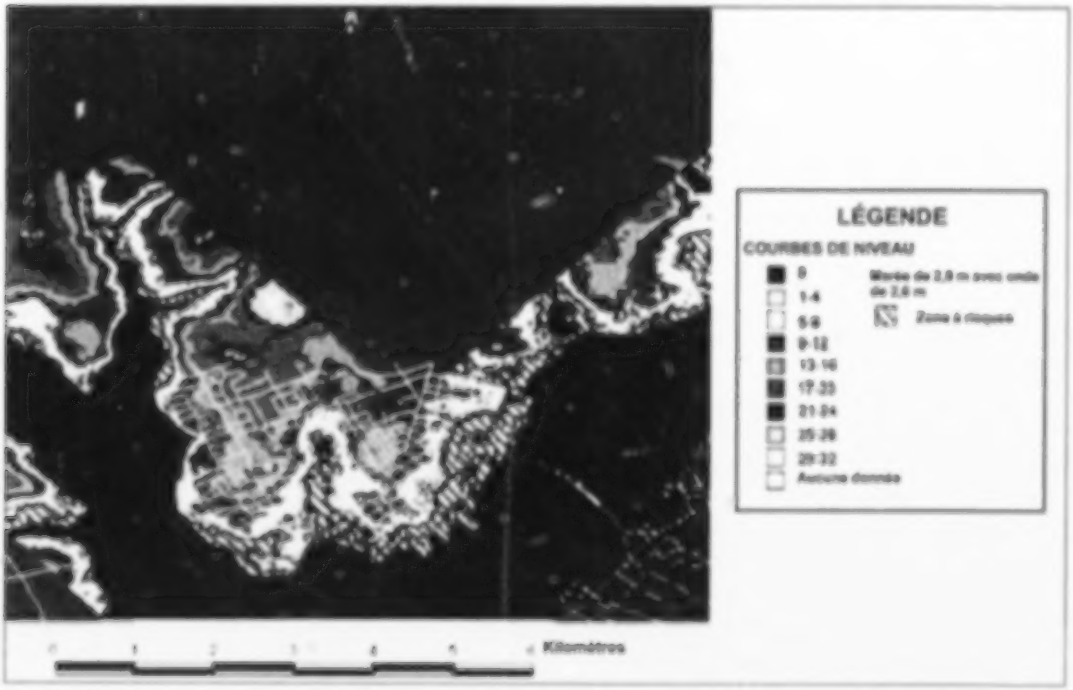
Catégorie de tempête	Mesure recommandée
Tempêtes hivernales ou tropicale	• Surveiller • Prendre en considération des mesures de protection pour les résidents des maisons mobiles • Prendre en considération des mesures de précaution pour le public
Ouragan de catégorie 1	• Suivre et mettre à jour à toutes les heures • Mettre en œuvre des mesures de précaution • Prendre en considération des mesures de protection
Ouragan de catégorie 2	• Suivre et mettre à jour à toutes les heures • Mettre en œuvre des mesures de protection
Ouragan de catégorie 3	• Suivre et mettre à jour à toutes les heures • Mettre en œuvre des mesures de protection

5.0 Zones les plus à risque de Charlottetown

5.1 Forte probabilité

Les séquences de modélisation des dommages causés par l'onde de tempête et le vent de la TOEC indiquent que la zone ayant la plus forte probabilité de subir des dommages suite aux tempêtes est la partie riveraine de Charlottetown. Ce résultat est basé sur la combinaison des dommages causés par le vent et les inondations, l'emplacement des infrastructures essentielles et l'impact sur la population. La zone comportant la probabilité la plus forte est illustrée à la figure 23.

Figure 23 Scénario de la TOEC illustrant la plus forte probabilité de dommages

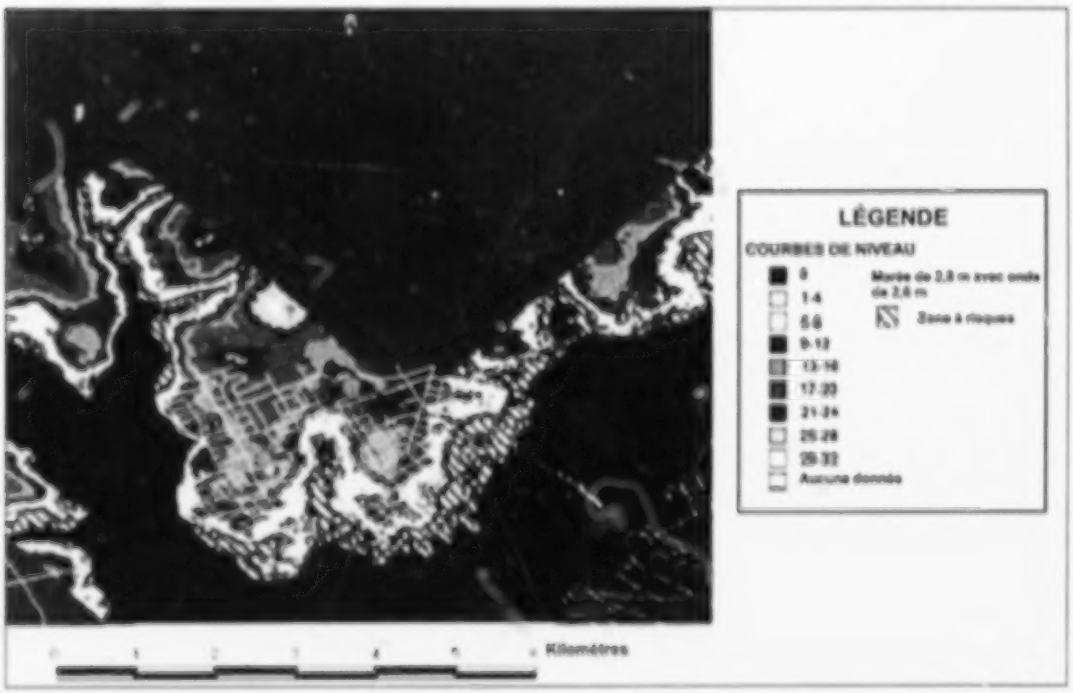


La figure 23 est le résultat de la séquence de modélisation de la TOEC qui incorpore dans ses paramètres une marée haute diurne et un niveau d'onde prévu de un mètre, semblables à ceux prévus lors de la tempête hivernale de 1998. Elle illustre la zone la plus susceptible de subir des dommages causés par une inondation selon les scénarios de tempête les plus probables (c'est-à-dire, une tempête hivernale ou une tempête tropicale). La combinaison du problème d'onde de tempête à l'effet de vents forts associés aux tempêtes entraînerait des dommages légers aux maisons unifamiliales et des dommages importants aux maisons mobiles. (Voir la figure 19.)

5.2 Conséquences importantes

Les ouragans de catégorie 2 et 3 ont une probabilité de réalisation moindre d'arriver mais auraient des conséquences plus importantes sur Charlottetown. Les séquences de modélisation de la TOEC pour les ouragans de catégorie 2 et 3 indiquent une surface d'inondation étendue créée par l'onde de tempête et des dommages importants à la plupart des structures sur toute l'étendue de la ville (voir les figures 20, 21 et 22 pour connaître les dommages causés par le vent et la figure 24 pour connaître l'estimation de l'inondation causée par l'onde).

Figure 24 Scénario de la TOEC illustrant les conséquences les plus importantes de dommages



La figure 24 illustre les résultats d'une inondation provoquée par un ouragan de catégorie 3 accompagné d'une onde de tempête de 2,8 mètres avec une marée de 2,6 mètres; une probabilité moindre mais aux conséquences plus importantes. Ainsi, les conséquences des dommages causés par les vents seraient plus importantes (voir les figures 20 et 21 pour connaître les détails).

5.3 Infrastructures à risque

La zone à probabilité importante de dommages illustrée à la figure 23 comprend les infrastructures, les services et les immobilisations publiques et privées suivantes; ces infrastructures sont à risque en cas d'inondation causée par l'onde de tempête (voir la figure 6 pour connaître les emplacements des infrastructures) et vulnérables aux dommages causés par les vents.

6.0 Mesures d'intervention

6.1 Emergency Management Cycle

As early as possible during an approach of a major storm or hurricane all levels of government should adopt an emergency management cycle that matches Environment Canada's storm advisory and warning releases. In other words, as a storm advisory, warning or update is received, the new data should be modelled and contingency plans developed and refined and/or response actions developed and implemented according to the new track and damage predictions and the local circumstances. Using this approach, the actual area where emergency actions may be required will be continuously defined and reduced. For example, at 72 hours prior to landfall a storm may or may not continue on the same track, with the same intensity and pressure. At 24 hours from landfall the general impact area can be estimated with reasonable accuracy. Between 12 and six hours prior to landfall the specific threatened areas and probable impacts will be more clearly defined. Using this approach, low or no cost general precautionary measures can be implemented initially over a larger area and the more expensive and disruptive protective measures can be limited to the area most at risk.

6.2 Mesures de précaution et de protection

Les mesures de précaution et de protection suivantes propres à un site ont été élaborées en se basant sur les résultats de la modélisation et de l'expérience acquise par SAIC Canada. Les mesures devront être validées par les gestionnaires des urgences locaux. Les mesures de précaution et de protection ainsi que les mesures d'intervention en cas de phénomènes météorologiques violents qui pourraient vraisemblablement causer une inondation provoquée par l'onde ou des vents sont détaillées au tableau 4.

Tableau 4 Mesures de précaution et de protection

Condition	Mesure
Précaution	
Tempêtes tropicales ou hivernales accompagnées de vents de 120 à 150 km/h	1. Émettre un avis public[7]. 2. Prendre en considération l'évacuation des maisons mobiles.
Onde de tempête prévue de 0,8 à 1,0 m	Prendre en considération : 1. L'émission d'avis publics. 2. L'évacuation des installations de soins spéciaux (par exemple, la maison de repos Park West Lodge). 3. La protection contre les intempéries des stations de traitement des eaux usées, le complexe de Maritime Electric et l'hôpital Queen Elizabeth. 4. La mise en œuvre d'un protocole préventif d'autorisation de congé à l'hôpital Queen Elizabeth. 5. L'évacuation de l'hôtel Delta Prince Edward 6. La préparation pour le déplacement des véhicules et de l'équipement du : NCSM Queen Charlotte, du manège militaire Queen Charlotte et des garages gouvernementaux 7. L'endiguement (la mise en place de sacs à sable) autour de l'hôpital et du complexe d'Imperial Oil. 8. La restriction de l'accès à la rive et le déplacement hors de l'eau et du littoral des petits bateaux.
Protection	
Ouragan de catégorie 1, 2 ou 3 Toutes les conditions d'ouragan[8]	1. Émettre un avertissement public. 2. Évacuer les maisons mobiles.
Onde de tempête >1,0 m	1. Émettre un avertissement public. 2. Évacuer les installations de soins spéciaux. 3. Déplacer le mobilier à risque aux étages supérieurs. 4. Prépositionner les véhicules et l'équipement du NCSM Queen Charlotte, du manège militaire Queen Charlotte et des garages gouvernementaux. 5. Mettre en œuvre un protocole préventif d'autorisation de congé à l'hôpital Queen Elizabeth. 6. Annuler toutes les fonctions non essentielles à l'hôpital Queen Elizabeth. 7. Empêcher l'accès à la rive. 8. Repositionner les bateaux ou les envoyer en mer.

[7] Les avis et les avertissements publics sont émis pour avertir les résidents de prendre des mesures de précaution personnelles (par exemple, ranger les meubles de jardin).

[8] Les modèles de la TOEC ont indiqués que les maison mobiles sont les installations les plus à risque de subir des dommages importants suite à des tempêtes hivernales importantes ou des ouragans.

6.3 Guide d'interventions – Tempêtes violentes et ouragans prévus

Les tableaux suivants, élaborés en se fondant sur le modèle de la TOEC, ne donnent que les points à considérer dans la préparation des plans et un guide opérationnel des interventions en cas de tempêtes violentes et d'ouragans – ils ne portent pas sur les risques associés à la mise en œuvre des diverses mesures de précaution et de protection qui sont tributaires et dictées par chaque situation. Ainsi, l'utilisation de ce guide s'applique dans un contexte de gestion de tous les risques. Les impacts sociaux et économiques devront être évalués en fonction des bénéfices réalisables durant la situation d'urgence.

Tableau 5 Guide d'interventions

FÉDÉRAL	
72 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Commencer la modélisation de la tempête jusqu'à ce qu'elle touche terre, se dissipe ou modifie sa route jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de menace. 2. À l'aide de l'information disponible, effectuer une évaluation des pires dommages. 3. Assurer une surveillance continue de la situation par une personne en autorité (par exemple, un agent de service) afin de mettre en marche, au besoin, le système de gestion des urgences. 4. Avertir et commencer la coordination avec les directeurs d'OMU responsables. 5. Effectuer la vérification initiale du personnel afin de déterminer la disponibilité et l'emplacement des ressources essentielles. 6. Identifier, par ordre de priorité, les édifices culturels fédéraux importants, les collections et les objets à l'intérieur de la zone menacée qui devraient être protégés. 7. Mettre en marche la préparation des mesures d'urgence. 8. Avertir les ministères fédéraux appropriés de la région. 9. Tenir l'OMU et le Centre de coordination des opérations d'urgence du gouvernement pleinement au courant de la situation.
48 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Doter en personnel au niveau approprié le centre des opérations d'urgence. 3. Ébaucher et distribuer le plan des mesures d'urgence (demander aux destinataires qui prennent les mesures de réagir au plan). 4. Effectuer une analyse des besoins pour protéger les ressources fédérales et répondre aux demandes provinciales. 5. Mettre à jour la liste des infrastructures essentielles fédérales de la zone menacée qui devraient être protégées. 6. Coordonner au besoin les mesures avec les ressources d'intervention fédérales locales (par exemple, le Secteur de la Force terrestre, la Garde côtière canadienne et le centre de coordination, Santé Canada, etc.) 7. Prendre en considération la conduite de la planification et des breffages conjoints. 8. Prendre en considération des mesures de précaution initiales comme le remplissage de sacs de sable et le prépositionnement du matériel pour former des digues d'urgence. 9. Prendre en considération, en consultation avec tous les intervenants, le prépositionnement des ressources d'intervention fédérales (par exemple, les unités militaires). 10. Commencer à faire formellement rapport de la situation. 11. Tenir l'OMU, le ministère fédéral et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.

Tableau 5 Guide d'interventions
(suite)

FÉDÉRAL	
24 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Mettre à jour une analyse des besoins. 3. Mettre à jour la vérification du personnel en ce qui a trait à la disponibilité et l'emplacement des ressources fédérales. 4. Informer le BPIEPC des manques critiques. 5. Mettre à jour la liste des infrastructures essentielles fédérales de la zone menacée qui devraient être protégées. 6. Mettre à jour la liste des édifices culturels fédéraux importants, des collections et des objets à l'intérieur de la zone menacée qui devraient être protégés. 7. S'assurer que le COU est situé à l'extérieur de la zone menacée. 8. Mettre à jour et émettre la préparation des mesures d'urgence. 9. Tenir l'OMU, le ministère fédéral et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.
12 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE JUSQU'À LA FIN DE CELLE-CI	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Continuer la surveillance et accorder au besoin les ressources. 3. Mettre en marche la planification antisinistre. 4. Mettre en œuvre le plan des mesures d'urgence. 5. Accorder au besoin le soutien opérationnel. 6. Tenir l'OMU, le ministère fédéral et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.

PROVINCIAL	
72 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Réviser et confirmer l'évaluation des dommages de la TOEC. 2. Effectuer une analyse des besoins (par exemple, les centres d'accueil d'urgence, les centres d'hébergement temporaire, le ravitaillement d'urgence, etc.) fondée sur l'évaluation des dommages. 3. Effectuer la vérification initiale du personnel afin de déterminer la disponibilité et l'emplacement des ressources essentielles provinciales et du secteur privé. 4. Identifier, par ordre de priorité, les édifices culturels provinciaux importants, les collections et les objets à l'intérieur de la zone menacée qui devraient être protégés. 5. Assurer une surveillance continue de la situation par une personne en autorité (par exemple, un agent de service) afin de mettre en marche, au besoin, le système de gestion des urgences. 6. Avertir et commencer la coordination avec les responsables municipaux. 7. Mettre en marche la préparation des mesures d'urgence. 8. Avertir les ministères provinciaux appropriés. 9. Tenir la municipalité et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.

Tableau 5 Guide d'interventions
(suite)

PROVINCIAL	
48 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Réviser et confirmer l'évaluation des dommages de la TOEC. 2. Effectuer une analyse des besoins (par exemple, les centres d'accueil d'urgence, les centres d'hébergement temporaire, le ravitaillement d'urgence, etc.) fondée sur l'évaluation des dommages. 3. S'assurer que le COU provincial est situé à l'extérieur de la zone menacée et doté en personnel au niveau approprié. 4. Prendre en considération la relocalisation des dossiers provinciaux essentiels. 5. Prendre en considération des mesures de précaution comme l'évacuation complète ou partielle des hôpitaux et des autres institutions semblables qui prennent un temps considérable à relocaliser en sécurité les personnes touchées. 6. Prendre en considération des mesures de précaution comme une évacuation complète ou partielle des ressources non essentielles de la zone menacée qui prennent un temps considérable ou d'importantes ressources humaines à les relocaliser en sécurité. 7. Prendre en considération des mesures de précaution pour les infrastructures essentielles comme la mise en place de sacs à sable et la formation de digues d'urgence. 8. Mettre à jour la vérification du personnel afin de déterminer la disponibilité et l'emplacement des ressources essentielles provinciales et du secteur privé. 9. Ébaucher et distribuer le plan des mesures d'urgence (demander aux destinataires qui prennent les mesures de réagir au plan). 10. Prendre en considération l'ouverture d'un centre d'information conjoint média/province. 11. Prendre en considération l'émission d'un avertissement public contenant les mesures de précaution recommandées. 12. Mettre à jour les priorités concernant les édifices, les collections et les objets culturels importants provinciaux à l'intérieur de la zone menacée qui devraient être protégés. 13. Assurer une surveillance continue de la situation par une personne en autorité (par exemple, un agent de service) afin de mettre en marche, au besoin, le système de gestion des urgences. 14. Assurer la mise à jour auprès des ministères et mettre en œuvre la poursuite des plans d'affaires. 15. Commencer à faire formellement rapport de la situation. 16. Tenir la municipalité, les ministères provinciaux et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.

Tableau 5 Guide d'interventions
(suite)

PROVINCIAL	
24 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Prépositionner les ressources d'intervention provinciales requises. 3. Prendre en considération l'ouverture d'un centre d'information conjoint média/province. 4. Commencer la mise en place des centres d'accueil d'urgence. 5. Prendre en considération une déclaration d'état d'urgence provincial. 6. Avertir (mettre en attente) les fournisseurs de biens et de services essentiels. 7. Prendre en considération l'émission d'un avis public afin de restreindre l'accès à la zone menacée. 8. Fournir au besoin les ressources et l'aide aux municipalités. 9. Émettre un plan des mesures d'urgence provincial. 10. Continuer la surveillance et répondre aux demandes municipales. 11. Tenir la municipalité, les ministères provinciaux et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.
12 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE JUSQU'À LA FIN DE CELLE-CI	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Continuer la surveillance et accorder au besoin les ressources. 3. Doter pleinement le COU provincial. 4. Mettre en marche les centres d'information des médias et du public. 5. Mettre en œuvre le plan des mesures d'urgence. 6. Effectuer les opérations d'urgence. 7. Mettre en marche la planification antisinistre. 8. Tenir la municipalité, les ministères provinciaux et le BPIEPC pleinement au courant de la situation.

Tableau 5 Guide d'interventions
(suite)

MUNICIPAL	
72 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Réviser et confirmer l'évaluation des dommages de la TOEC. 2. Effectuer une analyse des besoins (par exemple, les centres d'accueil d'urgence, les centres d'hébergement temporaire, le ravitaillement d'urgence, etc.) fondée sur l'évaluation des dommages. 3. Aviser les services municipaux (par exemple, les travaux publics, la police, le service des incendies, etc.). 4. Aviser les organismes d'entraide. 5. Effectuer la vérification initiale du personnel afin de déterminer la disponibilité et l'emplacement des ressources essentielles municipales et du secteur privé. 6. Informer l'OMU des manques critiques. 7. Identifier, par ordre de priorité, les infrastructures essentielles (réserves d'eau, central téléphonique, etc.) à l'intérieur de la zone menacée qui devraient être protégés. 8. Identifier, par ordre de priorité, les édifices culturels importants, les collections et les objets à l'intérieur de la zone menacée qui devraient être protégés. 9. Prendre en considération des mesures de précaution initiales comme le remplissage de sacs de sable et le prépositionnement du matériel pour former des digues d'urgence. 10. Mettre en marche la préparation des mesures d'urgence. 11. Aviser l'OMU et les organismes d'entraide de la situation.

Tableau 5 Guide d'interventions
(suite)

MUNICIPAL	
48 HOURS PRIOR TO LANDFALL	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. S'assurer que le centre des opérations d'urgence est situé à l'extérieur de la zone menacée. 3. Doter en personnel au niveau approprié le centre des opérations d'urgence. 4. Prendre en considération des mesures de précaution comme une évacuation complète ou partielle des ressources non essentielles de la zone menacée qui prennent un temps considérable ou d'importantes ressources humaines à les relocaliser en sécurité. 5. Prendre en considération des mesures de précaution pour les infrastructures essentielles comme la mise en place de sacs à sable et la formation de digues d'urgence. 6. Ébaucher et distribuer le plan des mesures d'urgence (demander aux destinataires qui prennent les mesures de réagir au plan). 7. Coordonner les tâches avec les services municipaux (par exemple, les services policiers doivent mettre à jour et confirmer l'évacuation municipale, le contrôle de la circulation et les plans de contrôle d'accès). 8. Planifier la relocalisation de l'équipement essentiel et dispendieux comme les engins de lutte contre l'incendie, le parc automobile, etc. 9. Prendre en considération la relocalisation des dossiers essentiels. 10. Prendre en considération l'ouverture d'un centre d'information conjoint média/municipalité. 11. Prendre en considération l'émission d'un avertissement public contenant les mesures de précaution recommandées. 12. Assurer la mise à jour auprès des ministères et mettre en œuvre la poursuite des plans d'affaires conformément aux horaires de planification. 13. Commencer à faire formellement rapport de la situation.
24 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Mettre à jour l'analyse des besoins (par exemple, les centres d'accueil d'urgence, le ravitaillement d'urgence, etc.) fondée sur l'évaluation des dommages. 3. Poursuivre la mise en œuvre des mesures de précaution conformément aux priorités établies. 4. Ouvrir un centre d'information conjoint média/municipalité. 5. Avertir (mettre en attente) les fournisseurs de biens et de services essentiels. 6. Communiquer aux médias les mises à jour et les avis de sécurité. 7. Prendre en considération une déclaration d'état d'urgence locale. 8. Recommander la relocalisation du bétail des zones menacées. 9. Recommander l'évacuation volontaire. 10. Ouvrir les services d'inscription et de demande de renseignements. 11. Émettre un plan des mesures d'urgence municipal. 12. Continuer la surveillance et répondre aux demandes des services municipaux et des citoyens.

Tableau 5 Guide d'interventions
(suite)

MUNICIPAL	
12 HEURES AVANT QU'UNE TEMPÊTE TOUCHE TERRE JUSQU'À LA FIN DE CELLE-CI	1. Mettre à jour l'évaluation des dommages. 2. Mettre en marche à plein régime le centre des opérations d'urgence. 3. Mettre en marche les centres d'information des médias et du public. 4. Décréter une évacuation générale de la zone menacée. 5. Mettre en œuvre le contrôle de la circulation et le contrôle d'accès. 6. Mettre en œuvre le plan des mesures d'urgence. 7. Relocaliser l'équipement essentiel et le parc automobile. 8. Fermer les aires de loisirs. 9. Émettre des avertissements publics. 10. Effectuer les opérations d'urgence. 11. Mettre en marche la planification antisinistre.

7.0 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation suivantes ne figurent ici qu'à titre d'indication. Des recherches subséquentes (par exemple, une analyse coûts-avantages), qui dépassent la portée du projet actuel, sont nécessaires avant l'élaboration d'un plan et d'une politique d'atténuation.

Infrastructure clé

La construction de digues autour des infrastructures ou installations vulnérables aux inondations par onde de tempête qui se trouvent à proximité du rivage, telles les hôpitaux, devrait être envisagée. L'utilisation du rez-de-chaussée et des étages inférieurs pour les activités à faible risque devrait être envisagée. Les systèmes d'urgence comme les génératrices d'alimentation de secours devraient être placées sur le toit ou à un étage supérieur.

Les stations de traitement des eaux usées sont souvent situées près du rivage. Les digues pourraient s'avérer être une option intéressante, cependant, une option encore plus efficace serait de réduire les opérations et de rendre étanche (bloquer ou renforcer le débit entrant et l'écoulement) comme précaution lorsqu'une onde de tempête est prévue.

Régions littorales

Plusieurs zones littorales des villes côtières sont vulnérables aux inondations par onde de tempête. Les contrôles de zonage et les codes du bâtiment doivent servir à limiter et à contrôler la construction du périmètre d'inondation.

Maisons mobiles

Les modèles de dommages causés par les vents, fondés sur des événements passés, prévoient que les maisons mobiles sont plus susceptibles de subir des dommages structurels durant les tempêtes

hivernales ou tropicales et les ouragans de catégorie 1 ou supérieure. Le zonage et les codes du bâtiment (par exemple, emplacement ou exigences d'ancrage) pourraient être des outils appropriés.

8.0 Conclusion

L'histoire a démontré que les provinces maritimes sont sujettes aux conditions météorologiques exceptionnelles et, avec les changements climatiques prévus, la tendance laisse apparaître une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes. L'étude sur Charlottetown illustre le danger potentiel pour la population, les infrastructures essentielles et l'industrie provoqué par l'onde et le vent causés par les ouragans, les tempêtes tropicales et les tempêtes hivernales violentes.

La présente étude a fourni des données sur l'impact apparent de l'onde de tempête et des vents causés par les ouragans, les tempêtes tropicales et les tempêtes hivernales violentes à Charlottetown. À partir des modèles de la TOEC, il a été déterminé que l'onde de tempête, associée aux tempêtes tropicales et frontales, peut avoir un impact important sur les structures construites dans les terres basses ou près de la rive. De plus, toute la ville est vulnérable aux dommages causés par les vents.

Pour obtenir une précision maximale, il est nécessaire d'alimenter la TOEC avec des cartes topographiques électroniques (à haute résolution) et des bases de données détaillées comprenant les infrastructures essentielles et la population. Actuellement, seule une partie des provinces maritimes ont été cartographiées à l'aide de LIDAR et quelques bases de données électroniques sur les infrastructures et les ressources ont été compilées[9] alors que les régions côtières sont sujettes aux effets semblables des tempêtes.

Le logiciel de la TOEC est sous le contrôle du gouvernement fédéral des État-Unis et peut être utilisé par le BPIEPC grâce au programme gouvernement à gouvernement Canada-É.-U. Il est recommandé que le logiciel qui a servi à l'étude sur Charlottetown soit transféré au directeur du BPIEPC de l'Île-du-Prince-Édouard afin de soutenir les opérations provinciales et que le BPIEPC contrôle l'utilisation du logiciel par l'entremise d'un site Web sécuritaire ou d'un médium semblable. SAIC Canada s'occupera des prescriptions de licence pour le transfert.

Une grande partie du travail a été consacrée à la cueillette des données, à l'élaboration du logiciel et à la modélisation des divers scénarios des dommages causés par l'onde de tempête et les vents. Cependant, le travail réel et le plus important est la production d'un outil fonctionnel de prévision de l'onde de tempête et de modélisation des dommages causés par les vents (dans l'environnement de la TOEC) pour Charlottetown. Le résultat est un modèle de prévision en temps réel qui peut servir à guider les gestionnaires des urgences dans l'élaboration des mesures d'atténuation et d'intervention. Une fois les données nécessaires disponibles, les autres zones à risque des provinces maritimes pourront être étudiées de façon similaire.

---

[9] Les données sur la population sont disponibles figures dans les données du recensement.

Annexe A – Échelle d'ouragan Saffir-Simpson

L'échelle d'ouragan Saffir-Simpson est une échelle d'intensité réelle de la force d'un ouragan divisée de 1 à 5. La façon dont l'onde de tempête, le vent et les autres facteurs sont combinés détermine la puissance destructrice d'un ouragan. Pour comparer facilement et prévenir plus clairement les intervenants en cas d'urgence lorsque des ouragans s'approchent, les spécialistes de la prévision des ouragans de la National Oceanic and Atmospheric Administration des É.-U. se servent d'une échelle de catastrophe qui les répartit en cinq catégories. Un ouragan de catégorie 1 est l'ouragan le moins violent alors que celui de 5 est le pire. Les critères de chaque catégorie sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Catégorie	Vitesse des vents et pression	Effets et exemples	Onde de tempête (en mètres)
1	119 à 153 km/h (>98 kPa) >980 mb	Dommages surtout aux maisons mobiles non ancrées, aux bosquets et aux arbres. Certaines routes côtières seront également inondées et la jetée subira des dommages mineurs. *Par exemple :* l'ouragan Erin (1995)	1 à 1,7
2	154 à 177 km/h (96.5–97.9 kPa) 965–979 mb	Certains dommages aux matériaux de toiture, aux portes et aux fenêtres des bâtiments. Des dommages considérables à la végétation, aux maisons mobiles et aux jetées. Inondation des routes côtière et des chemins d'évacuation des terres basses de 2 à 4 heures avant l'arrivée du centre. Les petites embarcations dans les aires de mouillage non protégées briseront les amarres. *Par exemple :* l'ouragan Bertha (1996), George (lorsque la tempête a atteint les Keys) (1998)	1,8 à 2,6
3	178 à 209 km/h (94.5–96.4 kPa) 945–964 mb	Certains dommages structurels aux petites résidences et aux bâtiments publics avec un certain nombre de chutes de murs rideaux. Les maisons mobiles sont détruites. L'inondation près de la côte détruit les structures plus petites alors que les structures plus grandes sont endommagées par les débris flottants. Les terres dont l'élévation continue est inférieure à 1,5 m (5 pi) ASL peuvent être inondées à 13 km (8 milles) ou plus à l'intérieur des terres. *Par exemple :* les ouragans Opal (1995) et Fran (1996)	2.7–3.8

Catégorie	Vitesse des vents et pression	Effets et exemples	Onde de tempête (en mètres)
4	210 à 249 km/h (92–94.4 kPa) 920–944 mb	Des dommages plus importants aux murs rideaux avec certaines chutes complètes de toitures de plus petites résidences. Érosion importante des plages. Des dommages importants aux planchers inférieurs des structures près de la rive. Les terres dont l'élévation continue est inférieure à 3 m (10 pi) ASL qui peuvent être inondées nécessitent l'évacuation massive des zones résidentielles vers l'intérieur des terres aussi loin qu'à 13 km (6 milles) ou plus. *Par exemple :* l'ouragan Andrew (1992)	3,9 à 5,6
5	>249 km/h (>92 kPa) >920 mb	Chute complète des toitures de plusieurs résidences et bâtiments industriels. Certains effondrements complets de bâtiments avec certains petits édifices de services soufflés ou effrités. Des dommages importants aux étages inférieurs de toutes les structures situées à moins de 4,5 m (15 pi) ASL à l'intérieur (500 verges) du littoral. Une évacuation massive des zones résidentielles des terres basses entre 8 et 16 km (5 à 10 milles) du littoral pourrait être nécessaire. *Par exemple :* Les ouragans Camille (1996) et Mitch (1998)	5,7 +

Annexe B – Références

Bobanovic, J., Thompson, K., Desjardins, S. et Ritchie, H., 2000. Real-time forecasts of the January 21st storm surge in Atlantic Canada. *Résumés, Société canadienne de météorologie et d'océanographie, 34e Congrès*, Victoria, C.-B.

COASTAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON PRINCE EDWARD ISLAND 2001
Donald L. Forbes[1], Martha McCulloch[2], George Parkes[2], Keith Thompson[3], Richard Chagnon[4], Kelly MacDonald[5], Mike Milloy[5], Gavin Manson[1], Charles O'Reilly[5], Natacha Bernier[3], Josko Bobanovic[3], Hal Ritchie[2], Tim Webster[7], Steve Dickie[7], Bob Maher[7], Don Poole[8]

[1]Commission géologique du Canada [CGC], Ressources naturelles Canada, Dartmouth, N.-É.
[2]Commission météorologique du Canada [SMC], Environnement Canada, Dartmouth, N.-É.
[3]Department of Oceanography, Dalhousie University, Halifax, N.-É.
[4]Service canadien des glaces [SCG], Environnement Canada, Ottawa, Ontario.
[5]Direction des affaires ministérielles d'Environnement Canada, Dartmouth, N.É.
[6]Service hydrographique du Canada [SHC], ministère des Pêches et Océans, Dartmouth, N.-É.
[7]Centre for Geographic Sciences [COGS], Nova Scotia Community College, Lawrencetown, N.-É.
[8]Ville de Charlottetown, Charlottetown, Î.-P.-É.

Forbes, D. L. Parkes, G., O'Reilly, C., Daigle, R., Taylor, R. et Catto, N., 2000. Storm-surge, sea-ice, and wave impacts of the 21–22 January 2000 storm in coastal communities of Atlantic Canada.

Lane, P. and Associates Ltd., 1988. Preliminary study of the possible impacts of a one metre rise in sea level at Charlottetown, Prince Edward Island. Environment Canada, Climate Change Digest 88-02, 7 p. et carte.

Lowe's Storm 99 Hurricane Central: FAQ Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones Version 2.6, 13 January 1999.

Parkes, G. S., Forbes, D. L. & Ketch, L. A., 2001. Sea-level rise. Appendix 1, Part 1, dans : *Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island* (Shaw, R., éditeur). Final report to Climate Change Action Fund, Ottawa (forthcoming).

Webster, T., Forbes, D. L., Dickie, S., Covill, R. A. et Parks, G., 2001. Airborne imaging, digital elevation models and flood maps. Dans : Coastal impacts of climate change and sea level rise on Prince Edward Island (Shaw, R. W. et Forbes, D. L., éditeurs) Geological Survey of Canada, Open File [no. pending], Supporting Document 4.